

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PUCP

**DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO
PARA CLASIFICACIÓN DE PALTA HASS**

**Trabajo de investigación para la obtención del grado académico de BACHILLER EN
CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA MECATRÓNICA**

AUTOR:

Deglan Jesus Rivas Romero

ASESOR:

Luis Enrique García Zevallos

Lima, diciembre, 2020

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene por finalidad presentar el diseño conceptual de un sistema automático para la clasificación de paltas tipo Hass por medio de visión artificial. La propuesta surge como consecuencia de las pérdidas que genera la clasificación manual por simple inspección antecedentes en la realidad peruana. Por ello, el objetivo principal de la investigación es diseñar un sistema automático compacto, competitivo laboralmente y rentable con el fin de empoderar a los pequeños y medianos productores. La solución óptima se compone de módulos que se encargan de una tarea desde la alimentación, transporte, disgregación y clasificación de los frutos. El funcionamiento sinérgico de la máquina permite clasificar el producto en 5 calibres distintos regulables según las especificaciones del usuario. Como resultado, se dispone de cálculos teóricos que prueban la efectividad del proceso y su viabilidad económica demostrando así la posibilidad de diseñar un sistema clasificador de paltas que opera por medio de métodos no invasivos disponibles en el mercado.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE TABLAS.....	III
ÍNDICE FIGURAS	IV
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	3
1.1 CARACTERÍSTICAS DE LA PALTA DE EXPORTACIÓN.....	3
1.2 PROBLEMÁTICA	6
1.2 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN.....	10
<i>1.2.1 Alcance.....</i>	<i>11</i>
<i>1.2.2 Objetivos</i>	<i>11</i>
1.3 ESTADO DEL ARTE	12
<i>1.3.1 Máquinas automáticas para clasificación de paltas comerciales</i>	<i>12</i>
<i>1.3.2 Patentes y tesis</i>	<i>16</i>
<i>1.3.3 Artículos científicos</i>	<i>18</i>
<i>1.3.4 Sensores</i>	<i>19</i>
<i>1.3.5 Actuadores y Mecanismos</i>	<i>24</i>
<i>1.3.6 Controladores.....</i>	<i>29</i>
1.4 METODOLOGÍA.....	30
DISEÑO CONCEPTUAL	32
2.1 LISTA DE REQUERIMIENTOS	32
2.2 ESTRUCTURA DE FUNCIONES	35
<i>2.2.1 Black box del sistema</i>	<i>35</i>
<i>2.2.2 Lista de funciones.....</i>	<i>36</i>
<i>2.2.3 Estructura de funciones propiamente dicha</i>	<i>37</i>
2.3 MATRIZ MORFOLÓGICA.....	39
2.4 CONCEPTO DE SOLUCIÓN.....	42
2.5 EVALUACIÓN TÉCNICA	48
2.6 CONCEPTO DE SOLUCIÓN ÓPTIMO.....	52
<i>2.6.1 Subsistema de recepción.....</i>	<i>54</i>
<i>2.6.2 Subsistema de Singularización.....</i>	<i>56</i>
<i>2.6.3 Subsistema de clasificación</i>	<i>57</i>
<i>2.6.4 Subsistema de soporte</i>	<i>60</i>
CONCLUSIONES	62
COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES.....	63
BIBLIOGRAFÍA	64

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1 Tabla de relación calibre – peso para envases destinados al mercado de la Unión Europea.....	4
Tabla 2 Tabla de relación calibre – peso para envases destinados al mercado de la Estados Unidos.	4
Tabla 3 Exportaciones mundiales de palta en miles de toneladas desde el año 2001 hasta el 2017.	7
Tabla 4 Exportaciones de palta en toneladas desde el 2001 hacia nuevos mercados – 2019..	8
Tabla 5 Tabla de principales características de la clasificadora Blizzard 640.....	13
Tabla 6 Tabla de principales características de la clasificadora TPP-Z7.....	14
Tabla 7 Tabla de principales características de la clasificadora FGX – DZS.....	15
Tabla 8 Tabla de principales características de la clasificadora AMS-FS5.	16
Tabla 9 Tabla comparativa entre CMOS y CCD.	19
Tabla 10 Tabla comparativa entre sensores capacitivo y de barrera fotoeléctrica.	21
Tabla 11 Tabla comparativa de las principales características de celdas de carga.	23
Tabla 12 Tabla comparativa entre tecnologías de identificación.	23
Tabla 13 Tabla comparativa entre tecnologías de identificación.	24
Tabla 14 Tabla comparativa entre tecnologías de RFID.	24
Tabla 15 Tabla comparativa de motores: Síncrono vs Asíncrono.	25
Tabla 16 Tabla comparativa AC: Jaula de ardilla vs Rotor bobinado.	26
Tabla 17 Tabla comparativa entre elementos de transmisión.	26
Tabla 18 Tabla guía para elección de motovibrador.	27
Tabla 19 Matriz morfológica.....	39
Tabla 22 Evaluación técnica.	49
Tabla 23 Evaluación económica.	50
Tabla 24 Leyenda de puntajes.	51
Tabla 25 Tabla resumen de actuadores – sensores para la recepción.....	55
Tabla 26 Tabla resumen de actuadores – sensores para la singularización.....	57
Tabla 27 Tabla resumen de actuadores - sensores presentes en la clasificación.....	60

ÍNDICE FIGURAS

Figura 2 – Exportaciones de paltas en miles toneladas y millones dólares **Error! Marcador no definido.**

Figura 4 – Participación de las empresas exportadoras de palta en el 2007.....	8
Figura 5 – Participación de las empresas exportadoras de palta en el 2018.....	9
Figura 6 Clasificadora de alimentos congelados Blizzard 640 – TOMRA.	13
Figura 7 Clasificadora de frutas TPP-Z7 - Henan Topp Machinery.	14
Figura 8 Clasificadora de frutas FGX – DZS - Longkou Fushi Packing Machinery modelo no especificado.....	15
Figura 9 Clasificadora de naranjas AMS-FS5 – Amisy Food Machine.	16
Figura 10 Clasificadora de frutas y hortalizas de la patente ES 2 318 987 B1.	17
Figura 11 Clasificadora de frutas y hortalizas de la patente US 4 586 613 Vista superior. ...	18
Figura 12 Clasificadora de frutas y hortalizas de la patente US 4 586 613 Vista lateral.....	18
Figura 13 Resultados de aplicar el algoritmo de visión a las granadas. Las manchas rosas indican quemaduras solares.	19
Figura 14 Celda de carga de 10 Kg.	21
Figura 15 Celda de carga hidráulica.....	22
Figura 16 Celda de carga neumática.....	22
Figura 17 Motor a asos Nema 23.....	25
Figura 18 Tipos de máquinas asíncronas AC.....	25
Figura 19 Guía para la elección de vibrador según propósito.....	27
Figura 20 Ordenamiento en línea por medio de tambor giratorio.	28
Figura 21 Ordenamiento en línea por medio de topes V.....	28
Figura 22 Ordenamiento en línea por medio de fajas.....	29
Figura 23 PLC Logo.	29
Figura 24 Raspberry Pi 3 Model B.....	30
Figura 25 Black Box del sistema de clasificación de paltas Hass.	35
Figura 26 Estructura de Funciones del sistema de clasificación de paltas Hass.	38
Figura 27 Leyenda de flechas para matriz morfológica.....	39
Figura 28 Vista isométrica del concepto de solución 1.	43
Figura 29 Detalle de la cazoleta del concepto de solución 1.	43
Figura 30 Detalle de la armadura del concepto de solución 1.	44
Figura 31 Vista isométrica del concepto de solución 2.	45
Figura 32 Detalles del concepto de solución 2.....	45
Figura 33 Vista isométrica del concepto de solución 3.	46
Figura 34 Vista superior del subsistema de singularización.....	47
Figura 35 Detalle de rodillos en el subsistema de singularización	47
Figura 36 Vista posterior del subsistema de clasificación	48
Figura 37 Gráfico comparativo técnico – económico de los conceptos de solución.	51
Figura 38 Acercamiento al gráfico comparativo técnico – económico de los conceptos de solución.....	51
Figura 39 Vista isométrica del ensamble general	53
Figura 40 Interfaz de usuario.....	53
Figura 41 Sistema neumático.	54
Figura 42 Cámara de visión alineada.....	54
Figura 43 Vista isométrica del subsistema de recepción.....	55
Figura 44 Vista de perfil del subsistema de recepción.	55
Figura 45 Vista isométrica del subsistema de singularización.....	56
Figura 46 Detalle de transmisión 2 a 2.	57

Figura 47 Vista isométrica del subsistema de clasificación.	58
Figura 48 Detalle de la base del motorreductor de clasificación.	58
Figura 49 Detalle de la unión del cilindro de simple efecto con la brida de sujeción.	59
Figura 50 Detalle de la base del cilindro.	59
Figura 51 Vista isométrica del subsistema de soporte.	60
Figura 52 Detalle de unión eje - estructura.	61
Figura 53 Detalle del soporte de la estructura.	61



INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, Perú es un país exportador de materia prima entre las que resalta la palta dado su crecimiento constante durante los últimos años (Acosta Reátegui & Armando Romero, 2019), tendencia que se espera persista en un futuro próximo; con el fin de automatizar procesos, las empresas multinacionales han desarrollado clasificadoras que incluyen características innecesarias a precios exorbitantes, motivo por el cual la clasificación manual persiste en un país con resistencia a la incursión tecnológica como lo aclara el director en Sudamérica de Compact Sorting, Lucas Cámara (Andina, 2018); como consecuencia, la clasificación manual es la principal manera de disgregar los frutos, sin embargo, esta forma de clasificar trae pérdidas inherentes que se transmiten en costos adicionales como lo aclara (Garro Santillana, 2018); por lo tanto, la presente investigación tiene como objetivo ofrecer una solución acorde a las necesidades de las pequeñas y medianas empresas, las cuales son las principales contribuyentes al PBI nacional que al no poder costear las tecnologías optan por seguir métodos tradicionales sin explotar sus capacidades.

Los siguientes requerimientos pueden considerarse principales para el diseño de la máquina: Las medidas finales de la máquina no deben exceder los valores de 6 x 2 x 2m , debe ser resistente a la corrosión proveniente de las salpicaduras de pulpa, evitar la propagación de moretones provenientes de constantes golpes; de la misma manera, los sensores y controlador no deben ser sensibles a las condiciones de trabajo, el diseño debe seguir normas ergonómicas con el fin de evitar la fatiga del operario y, por último, ser competente con el mercado actual acorde al público objetivo del documento.

El documento se desarrolla por capítulos siguiendo una línea deductiva: de lo más general como es el contexto actual hacia una solución particular que permita paliar la problemática existente; es decir, cumpla su fin. El primer capítulo aborda la realidad actual: se detalla la problemática, información genérica sobre la exportación de la palta Hass, el alcance y objetivos del proyecto, la tecnología y máquinas existentes que permitirán desarrollar el tema de investigación; este último es quizás el más importante, pues el estado del arte permitirá orientar los conceptos de solución en función a los principales atributos tecnológicos. El segundo capítulo profundiza el tema de diseño de la solución, el cual se fundamenta en gráficos y tablas, cuyos objetivos son tanto definir de manera gráfica el propósito general de la máquina como subdividir las tareas para solucionarlas y luego integrarlas, obteniendo así el funcionamiento general de la máquina; como resultado de la matriz morfológica, se obtienen tres conceptos de solución distintos como soluciones candidatas para ser electas. Mediante una evaluación técnico – económica se elige la solución óptima que se expondrá en el siguiente capítulo. El tercer acápite trabaja el desarrollo integrado del sistema por medio de la interconexión de sus componentes, la lógica de control y la selección de materiales apropiados para los objetivos de la tesis.

Se detallan conclusiones y recomendaciones en la parte final del documento como consecuencia de la elaboración del documento; asimismo, se espera que el trabajo pueda ser de utilidad para futuras investigaciones con fines similares. Finalmente, se ha añadido un apartado de anexos en el que se recopila listas y diagramas útiles que complementan a la investigación.

ANTECEDENTES

El presente capítulo busca explicar los temas relacionados a la problemática actual sobre el procesamiento de las paltas para la exportación. Se plantea una propuesta de solución que pueda abordar los problemas que enfrentan los productores en las plantas de procesamiento nacionales. Finalmente, se mencionan los objetivos generales y específicos con la respectiva metodología a trabajar.

1.1 Características de la palta de exportación

De acuerdo con el destino de la palta, se siguen patrones de clasificación. Para la adecuada selección, se seguirá la Norma Técnica Peruana de la Palta (Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales No Arancelarias, 2014), la cual establece los requisitos mínimos de calidad que deben cumplir los cultivos de palta para clasificarlos y distribuirlos al mercado más apropiado según distintos criterios. Cabe resaltar que la norma no se aplica a paltas cuyos subprocesos estén destinados a la elaboración industrial como la producción crema de aguacate, por ejemplo.

Clasificación de paltas

- Según su aspecto externo:
 - **Categoría “Extra”:** Las paltas deben ser de calidad superior, no deberán presentar defectos en la piel, salvo sean suficientemente leves como para no comprometer la integridad del fruto. Deben conservar el pedúnculo intacto.
 - **Categoría I:** las paltas deberán ser de buena calidad. Sin embargo, se permitirán leves defectos en la piel que no afecten la calidad general del producto. La superficie total afectada no deberá superar 4 cm².
 - **Categoría II:** la categoría más permisiva: comprende las paltas que no pudieron clasificarse en las categorías superiores. Podrán aceptarse los defectos en la piel,

siempre y cuando conserven los requisitos esenciales para el consumo. La superficie total afectada no deberá superar 6 cm².

- Según su peso:

El calibre se determina por el peso en gramos del fruto, el número de calibre ayuda a indicar la cantidad de frutos que pueden entrar en una caja de “X” Kg

Tabla 1 Tabla de relación calibre – peso para envases destinados al mercado de la Unión Europea.
Fuente: Extraído de (Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales No Arancelarias, 2014).

Código de Calibre	Peso (en gramos)
4	781 – 1 220
6	576 – 780
8	456 – 576
10	364 – 462
12	300 – 371
14	258 – 313
16	227 – 274
18	203 – 243
20	184 – 217
22	165 – 196
24	151 – 175
26	144 – 157
28	134 – 147
30	123 – 137
S ³	80 – 123 (sólo para la variedad Hass)
NOTA: Para envases destinados al mercado de la Unión Europea	

Tabla 2 Tabla de relación calibre – peso para envases destinados al mercado de la Estados Unidos.
Fuente: Extraído de (Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales No Arancelarias, 2014).

Código de Calibre	Peso (en gramos)
24	447 - 532
28	390 - 447
32	333 – 397
36	298 – 354
40	269 -326
48	213 – 269
60	177 – 213
70	135 – 177
84	106 - 134
96	99 - 106

Lista de daños y defectos

Se listan los principales daños y defectos que pueden sufrir las paltas:

- Rameado, rozadura o raspado: Alteración de la piel, que se manifiesta como una suberización áspera o rugosa al tacto o un reticulado característico, de color marrón claro, originado por el rozamiento de las hojas con las paltas o de paltas entre sí, por acción del viento.
- Herida abierta: Lesión de origen mecánico en la piel, con compromiso de la pulpa y que no ha logrado secarse.
- Herida cicatrizada: Lesión de origen mecánico en la piel, con compromiso de la pulpa y que ha logrado secarse.
- Manchas: Diversas alteraciones en la superficie de la piel, sin compromiso de la pulpa, que se manifiestan como un cambio de color en la zona afectada.
- Magulladura o golpe: Lesión de origen mecánico, que se manifiesta con zonas blandas y deprimidas en el fruto, sin abertura de la piel, producto de golpes o presiones en el fruto y que dañan internamente la pulpa.
- Decoloración: Falta del color natural de la epidermis se presentan como un color verde pálido localizado, causado por intenso sombreamiento y solo compromete la apariencia de éste, no afectando la pulpa de este.
- Quemadura de sol: Pigmentación de la epidermis de la palta de color amarillo oscuro, rojo o negro, ocasionalmente con depresión y compromiso de la pulpa, por sobre exposición al sol.
- Daño por heladas: Alteración de las paltas cuando han sido expuestas a frío intenso o heladas durante su etapa de crecimiento, antes de la cosecha. Se manifiesta con una coloración rojiza-violácea en la epidermis asociada a un oscurecimiento de los haces vasculares.

- Pudrición: Deterioro de la piel o pulpa, causada por microorganismos fitopatógenos.
- 4.8.10 daño por insectos: Cualquier alteración que indique que la palta ha sufrido ataque de insectos.
- Desórdenes fisiológicos: Alteraciones del metabolismo de la palta que se expresan en síntomas tales como pardeamiento de la pulpa y/o deformidades, que deprecian la calidad de la palta.
 - Ausencia de pedúnculo: Cuando el pedúnculo se encuentra desprendido de la palta.

Requisitos de Madurez

- Las paltas al momento de su cosecha deben tener las condiciones mínimas de madurez fisiológica que le permita llegar a su estado óptimo de consumo.
- Las paltas deberán alcanzar un contenido mínimo de materia seca en la cosecha, según variedad, medida por secado a peso constante:
 - 21% para la variedad Hass.
- Las paltas deberán haber alcanzado una fase de desarrollo fisiológico que asegure la finalización del proceso de maduración (madurez de consumo), de conformidad con los criterios peculiares de la variedad y zona en que se producen. La palta madura no debe tener sabor amargo. El desarrollo y condición de las paltas deberán ser tales que les permitan:
 - Soportar el transporte y la manipulación, y
 - Llegar en estado satisfactorio al lugar de destino

1.2 Problemática

El sector agrícola se ha caracterizado, junto con la minería, por ser las actividades básicas que más aportan al PBI (Andina, 2018). La exportación de productos primarios se encuentra en

continuo crecimiento promoviendo el aumento de la capacidad de producción y logrando entrar en nuevos mercados, este es el caso de la palta Hass.

El Perú se ha convertido en el segundo proveedor mundial de palta fresca solo por detrás de México (Gestion, 2018), estadísticas que se vienen consolidando desde el 2011 hasta la actualidad como se observa en la Tabla 3. El impulso que ha proporcionado el gobierno a través del Ministerio de Agricultura mediante la culminación de tratados de libre comercio; así como la inserción de la tecnología en las empresas, han logrado un volumen que se viene incrementando en los últimos años. El siguiente cuadro muestra la evolución e importancia que representa el Perú para las exportaciones mundiales de palta Hass.

Tabla 3 Exportaciones mundiales de palta en miles de toneladas desde el año 2001 hasta el 2017.

Fuente: : Adaptado de (Acosta Reátegui & Armando Romero, 2019).

	2001	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Mundo	320	641	859	891	1060	1205	1419	1560	1871	1993
México		219	326	347	494	563	649	864	927	898
Perú	3	19	60	82	84	115	179	187	194	247
Países Bajos	20	27	60	71	78	90	107	109	148	191
Chile	41	110	108	103	91	88	112	90	147	177
España	44	46	53	68	60	61	74	82	92	107
Kenya	15	15	20	22	26	25	29	39	47	52
EEUU	9	6	29	18	29	43	37	38	53	51
Sudáfrica	29	83	52	32	55	51	66	58	58	43
Colombia	0	0	0	0	0	1	2	6	18	28
Francia		25	10	12	18	15	19	19	20	23
Israel		34	52	41	42	62	35	24	25	22

Debido a la oportuna intervención de SENASA, cuyo rol es fundamental en la apertura de mercados, y al fortalecimiento de las agroexportaciones, se logró casi triplicar el volumen de exportación entre los años 2010-2015 como se observa en la Figura 2; asimismo, se espera incursionar en nuevos mercados como México, Malasia, Vietnam, Australia, Corea del Sur, China, entre otros países para el año 2020 (Acosta Reátegui & Armando Romero, 2019). De esta manera, aumentar nuestro nivel de producción para satisfacer la futura demanda es necesario.

La Tabla 4 permite divisar las exportaciones a los principales mercados y comparar los volúmenes actuales con los iniciales para países como Japón, los cuales hace 5 años eran mercados nuevos.

Tabla 4 Exportaciones de palta en toneladas desde el 2001 hacia nuevos mercados – 2019.

Fuente: Adaptado de (Acosta Reátegui & Armando Romero, 2019).

	2001	2005	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Mundo	2757	18670	48346	59521	81544	83576	114544	179093	175695	194121	247192	359072
UE	2756	18380	46248	56751	66985	64269	88309	104670	114787	143875	160196	228340
EEUU			84	434	9094	15874	21600	65188	47177	32296	66236	82764
Chile			479	281	937	678	785	2716	8324	7992	6090	20744
China						21	21		59	1869	4628	11783
Japón								57	25	947	3270	5183
Costa Rica				162	721	113	45	108	1694	3296	1861	2034
Hong Kong					132	272	628	1196	524	1932	1805	5190
Canadá		224	1342	1266	2483	1801	2608	4164	1463	365	1514	757
Rusia				39	303	421	381	400	528	717	1073	1645
Panamá					21	43	21	42	47	326	191	33
Otros		67	189	589	867	81	146	550	1067	506	331	598

Como consecuencia del constante impulso agrícola y las continuas capacitaciones a los productores locales, la cantidad de exportadores de paltas aumentó significativamente en la última década. Así se puede apreciar en las Figura 4, la cual muestra la estadística gráfica de los principales productores de palta en el 2007

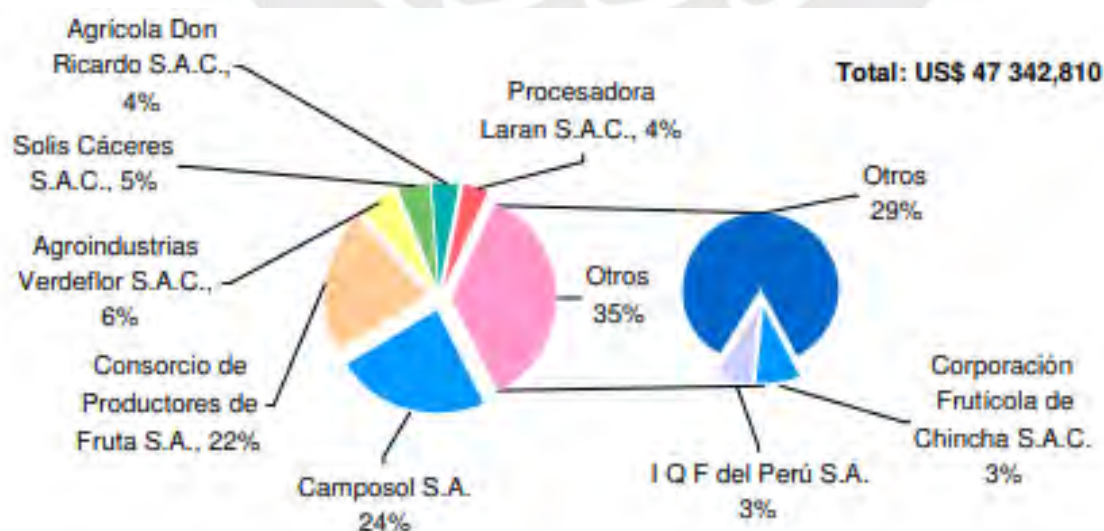


Figura 1 – Participación de las empresas exportadoras de palta en el 2007

Fuente: Superintendencia Nacional de Administración Tributaria (MINAGRI, 2008)– 2019.

Del mismo modo, en la Figura 5 se muestran las empresas productoras de paltas en el 2018

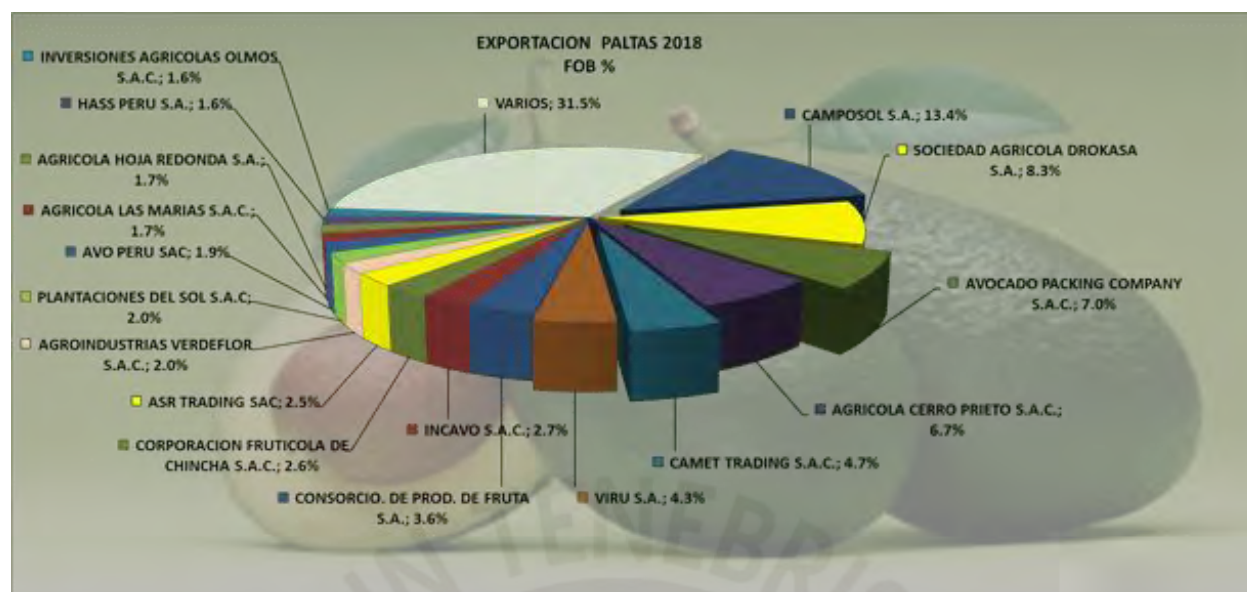


Figura 2 – Participación de las empresas exportadoras de palta en el 2018.

Fuente: Superintendencia Nacional de Administración Tributaria– 2019 (AGRODATAPERU, 2019).

Sin embargo, el mercado local no se encuentra automatizado: si bien existe recientes implementaciones de tecnología en Agrícola Cerro Prieto, inversiones rentables que solo las grandes empresas pueden realizar, la juventud del mercado y el poco conocimiento que existe sobre estas tecnologías provoca que las empresas escojan soluciones que limitan su crecimiento a futuro de acuerdo con Lucas Cámara, representante de Compac Sorting Equipment en Perú (Agraria.pe, 2018), quien agrega que el cliente chileno está dispuesto a pagar un porcentaje mayor por tecnología que marque una diferencia importante. Este comportamiento resistivo al cambio dificulta la modernización de equipos y permite que la clasificación visual subsista en la mayoría de los productores. La clasificación humana por inspección visual fomenta errores: factores ergonómicos como la monotonía producen fatiga, la cual afecta directamente la velocidad de trabajo y calidad del producto, tales errores se transmiten en costos adicionales. Según (Garro Santillana, 2018), los errores por costo de inspección y clasificación ascienden a 200 000 dólares anuales, montos considerables para pequeñas empresas.

1.2 Descripción de la propuesta de solución

En el mercado abundan las pequeñas y medianas empresas, las cuales son el motor de la economía peruana dado su aporte al PBI nacional y los empleos generados para la PEA(CONFIEP, n.d.). Por ello, la solución está dirigida a ese sector: sin precios estrambóticos ni producciones inalcanzables, la propuesta debe ser de bajo costo y acorde a los volúmenes de producción de las pymes; de esta manera, se debe garantizar aumento en las ganancias y reducción de pérdidas, acelerando el crecimiento y transición entre Pymes.

Los métodos no destructivos elegidos para clasificar no deben provocar daños en la piel del producto ni en el endocarpio del fruto. La propuesta debe incluir zonas acolchadas que eviten la propagación de moretones cuando haya impacto entre el fruto y las piezas mecánicas como lo describen las publicaciones de Moggia(Moggia, Graell, Lara, González, & Lobos, 2017), Xu(Xu, Takeda, Krewer, & Li, 2015) y Arazuri(Arazuri, Arana, & Jaren, 2010), las cuales informan que los daños para frutos con alto contenido de agua como arándanos y tomates respectivamente ascienden a 20-25% . La automatización del proceso por medio de visión artificial debe producir lotes estandarizados que eliminen la subjetividad, pues esto conlleva pérdidas según resalta (Garro Santillana, 2018).

En tanto la máquina debe producir al menos 600 paltas para ser competente con el mercado internacional. Como se podrá apreciar en el estado del arte, tradicionalmente la estructura de las máquinas clasificadoras consta de una gran faja que transporta y separa los alimentos con una dimensión de 6,8,12 metros o más que dificulta su transporte, ubicación y mantenimiento; por lo que se busca que el diseño sea compacto, modular y expandible, lo que facilitará su adquisición a las pequeñas empresas y podrá ser mejorada cuando las compañías crezcan.

1.2.1 Alcance

- La máquina clasificadora automática será capaz de procesar lotes de paltas Hass.
Podrá categorizar paltas en base dos parámetros configurables: el calibre y la calidad de piel.
- La máquina será capaz de distinguir formas irregulares para segregación.
- Las paltas deben ingresar alineados con la zona del pedúnculo hacia adelante
- El diseño no contempla la elaboración de la interfaz de usuario ni su código de programación.
- No se considera como parte del diseño el desarrollo del algoritmo de procesamiento de imagen.

1.2.2 Objetivos

Se nombran el objetivo general y los específicos del presente documento.

1.2.2.1 Objetivo general

- Diseñar un sistema automático de bajo costo para la clasificación de palta Hass por calibre y categoría de piel.

1.2.2.2 Objetivo específico

- Determinar la problemática y la propuesta de solución a partir de la evaluación de los antecedentes y el estado de la tecnología actual.
- Presentar una estructura que permita la alimentación de grandes lotes de paltas.
- Definir un método no invasivo que permita clasificar las paltas sin ocasionar daños superficiales exteriores
- Presentar un mecanismo que transporte, singularice y alinee las paltas por unidades.

- Definir un sistema de clasificación eficiente y configurable según las exigencias del productor.

1.3 Estado del Arte

Esta sección muestra la tecnología existente relacionada a nuestra problemática y el mercado actual. El fin de tal recopilación de información es conocer las características principales de las máquinas útiles para dar solución a la problemática

1.3.1 Máquinas automáticas para clasificación de paltas comerciales

Dado que existen empresas dedicadas a la clasificación de productos, es necesario comparar los estándares de las máquinas simples, pero funcionales con el fin de extraer las características primordiales que agregan competencia en el mercado.

1.3.1.1 Clasificadora de Vegetales y Frutas Blizzard 640

La empresa TOMRA, empresa noruega transnacional, cuenta con una amplia gama de maquinaria destinada a la clasificación. La clasificadora Blizzard (Figura 6) se crea como una alternativa rentable a Helius y Nimbus de TOMRA para alimentos congelados. Diseñada con una estructura compacta y una interfaz intuitiva. Los sensores son capaces de detectar diferencias estructurales, y de color y forma; mientras que los eyectores de aire garantizan una expulsión de alimentos rápida y precisa. El sistema garantiza un producto final de alta calidad, lo cual reduce costos de mano de obra y aumenta el rendimiento de producto (TOMRA, n.d.)



Figura 3 Clasificadora de alimentos congelados Blizzard 640 – TOMRA.

Fuente: <https://www.tomra.com/es-es/sorting/alimentacion/equipamiento-de-clasificacion/blizzard>

La tabla 5 muestra las características físicas entre las que destaca sus dimensiones reducidas para la capacidad que procesa, lo cual se debe a su estructura circular de niveles

Tabla 5 Tabla de principales características de la clasificadora Blizzard 640.

Fuente: Extraído de (TOMRA, n.d.).

Capacidad	4 - 6 toneladas/ hora
Dimensiones	2,932 x 2,161 x 1,996 mm
Longitud, Anchura, Altura	(115.4 x 85.1 x 78.6")
Anchura de la cinta de alimentación	1,905 mm (75")
Entrada de presión de aire	6 - 10 bares
Consumo eléctrico	1 ph: 1,5 kVA
	3 ph: 3,4 kVA

1.3.1.2. Industrial Weight Sorter Dragon Fruit Sorting Machine TPP-Z7

La empresa Henan Topp Machinery de origen chino comercializa su propia clasificadora de frutas como la fruta dragón, papa, palta, etc. La máquina logra hasta un máximo de 7 categorías distintas por peso. Según el fabricante, la TPP-Z7 es movable, por lo que puede funcionar tanto en la factoría como en el horticulorio. De esta forma reduce el daño a la fruta causado por el transporte. Además, es altamente precisa y veloz. El rendimiento de ponderación ha alcanzado la certificación CE/ISO9001 (Alibaba Group Holding Limited, n.d.).



Figura 4 Clasificadora de frutas TPP-Z7 - Henan Topp Machinery.

Fuente: https://www.alibaba.com/product-detail/Industrial-Weight-Sorter-Dragon-Fruit-Sorting_60822404636.html?spm=a2700.7724857.normalList.33.1fe558e092SLO4

La Tabla 6 contiene características de la TPP-Z7. Destacan la dimensión longitudinal que permite más escalas de clasificación y capacidad de procesamiento a costa de la dimensión X.

Tabla 6 Tabla de principales características de la clasificadora TPP-Z7.

Fuente: Extraído de (Alibaba Group Holding Limited, n.d.).

Capacidad	7200 piezas/ hora
Dimensiones	
Longitud, Anchura, Altura	6000*1200*980mm
Escalas de clasificación	Máximo 7
Rango de la fruta clasificada	20 – 1500 g
Consumo eléctrico	1.5kw; 220V
Peso	350kg

1.3.1.3 Electronic Fruit Grading Machine FGX – DZS

La empresa china Longkou Fushi Packing Machinery CO., LTD, especialista en lavado y pelado de frutas, incursionó en el campo del clasificado con su línea de modelos FGX-DZS, el cual es eficiente, precioso, de fácil mantenimiento y con una cubierta de metrafluoroetileno que permite producir poco ruido y aumentar la vida útil de la máquina. Cuenta con certificación CE/ ISO (Longkou Fushi Packing Machinery CO., n.d.).



Figura 5 Clasificadora de frutas FGX – DZS - Longkou Fushi Packing Machinery modelo no especificado.

Fuente: <http://www.fushijixie.cn/en/product/229.html>

Análogamente a la máquina anteriormente mencionada, la Tabla 7 demuestra que bajo el mismo modelo longitudinal se puede aumentar las escalas y con ello el rango de clasificación.

Tabla 7 Tabla de principales características de la clasificadora FGX – DZS.

Fuente: Extraído de (Longkou Fushi Packing Machinery CO., n.d.).

Capacidad	12800 piezas/ hora
Dimensiones	6600*1800*100 mm
Longitud, Anchura, Altura	
Escalas de clasificación	Más de 8
Rango de la fruta clasificada	20 – 1500 g
Consumo eléctrico	1.1kw; 220/ 380V
Peso	1200kg

1.3.1.4 Automatic Fruit & Vegetable Sorting Machine AMS-FS5

La empresa china Amisy Food Machine desarrolló su propia clasificadora de frutas con una capacidad elevada y pequeñas dimensiones (Amisy Food Machine, n.d.)



Figura 6 Clasificadora de naranjas AMS-FS5 – Amisy Food Machine.

Fuente: <https://www.amisyfoodmachine.com/vegetable-fruit-equipment/fruit-vegetable-sorting-machine.html>

Por último, la Tabla 8 incrementa más la capacidad, las escalas y el rango de clasificación, mientras reduce el espacio en 2 dimensiones.

Tabla 8 Tabla de principales características de la clasificadora AMS-FS5.

Fuente: Extraído de (Amisy Food Machine, n.d.).

Capacidad	18000 piezas/ hora
Dimensiones	
Longitud, Anchura, Altura	5200*1400*1100 mm
Escalas de clasificación	10
Rango de la fruta clasificada	20 – 2000 g
Consumo eléctrico	1.3kw; 220 V

Se puede concluir que las clasificadoras competentes que existen en el mercado cuentan con una capacidad aproxima de 10000 piezas/ hora, un rango de clasificación alrededor de 20 – 1500 g. Adicionalmente, para aumentar las escalas de clasificación a más de 3-4, se requiere incrementar la longitud, lo que produce una extensión considerable de las escalas de clasificación, pero genera más material, peso y precio.

1.3.2 Patentes y tesis

Esta sección muestra las investigaciones de acceso público que se realizaron en el campo, las cuales sentaron los fundamentos de las máquinas comerciales actuales.

- **Patente “Máquina clasificadora de frutas y hortalizas portátil”- ES 2 318 987 B1**

Clasificadora en lazo, la cual transporta las frutas en cazoletas que, luego de analizarlas, las vuelca sobre el destino adecuado (Patent No. 2 318 987, 2010).

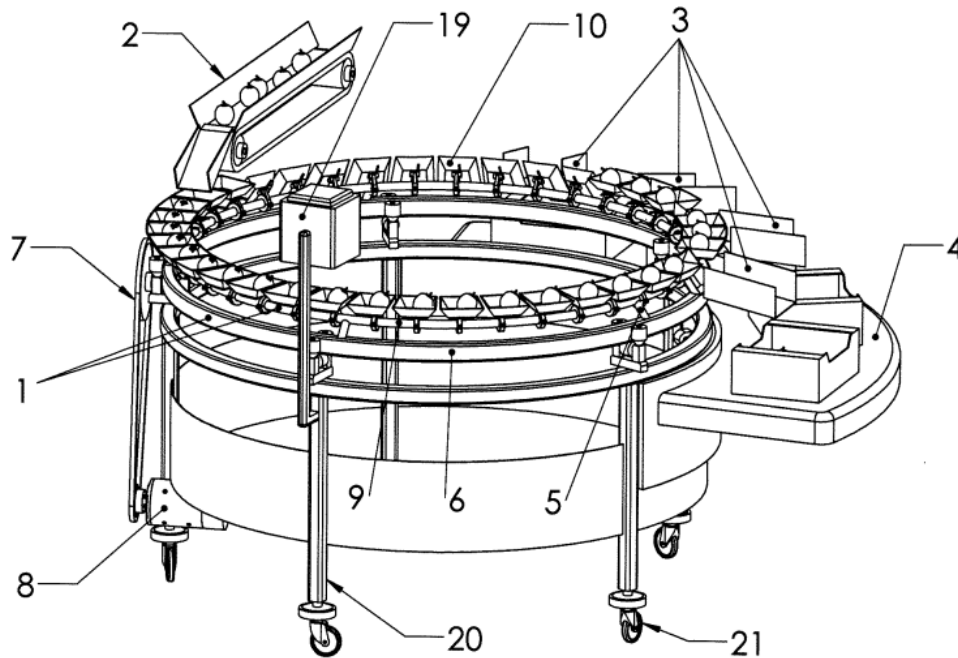


Figura 7 Clasificadora de frutas y hortalizas de la patente ES 2 318 987 B1.
Fuente: Extraído de (Patent No. 2 318 987, 2010).

- **METHOD AND APPARATUS FOR SORTING FRUITS AND VEGETABLES**

El método más utilizado: se transporta linealmente los productos, se analiza mediante visión por computadora a la fruta para finalmente despacharla en las categorías que se encuentran en los bordes (Patent No. 4,586,613, 1986)

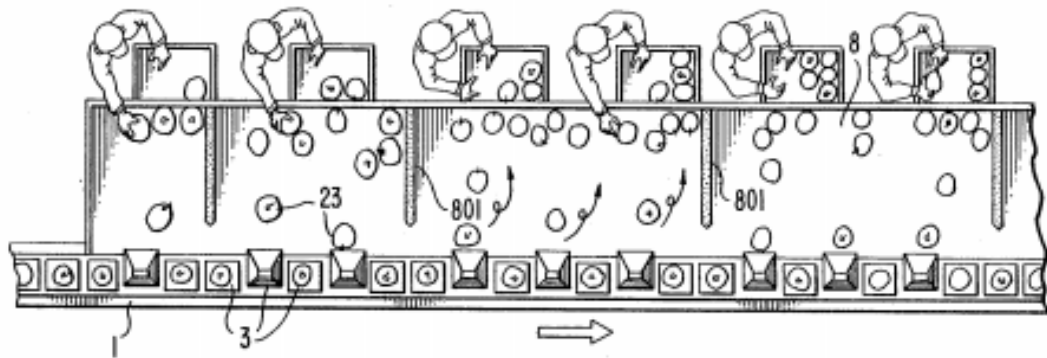


Figura 8 Clasificadora de frutas y hortalizas de la patente US 4 586 613 Vista superior.
Fuente: Extraído de (Patent No. 4,586,613, 1986).

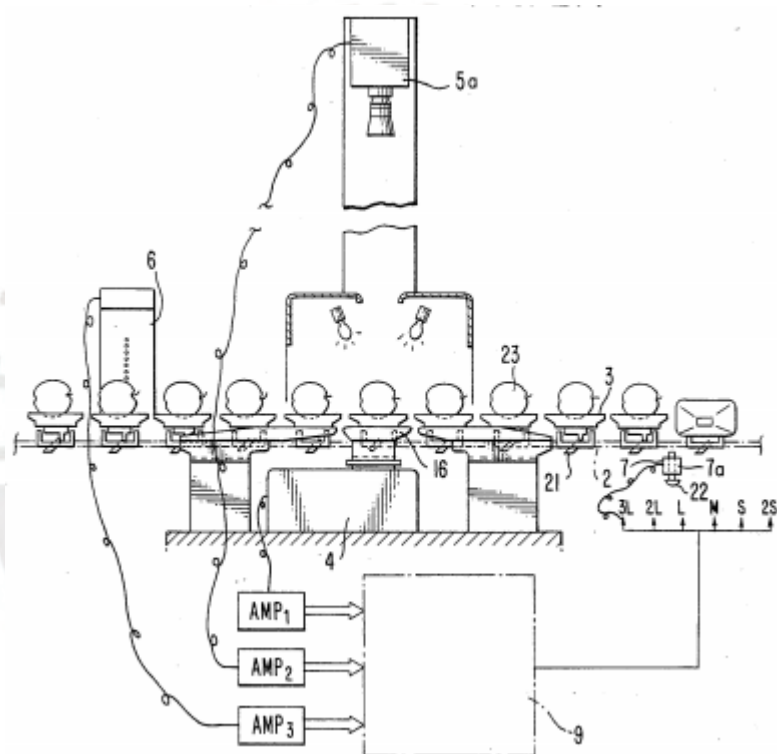


Figura 9 Clasificadora de frutas y hortalizas de la patente US 4 586 613 Vista lateral.
Fuente: Extraído de (Patent No. 4,586,613, 1986).

1.3.3 Artículos científicos

Los *papers* son aplicaciones prácticas publicadas en revistas. Son relevantes por su contenido práctico e innovador a escala micro.

1.3.3.1 Detecting Sunburn in Pomegranates Using Machine Vision

Se desarrolló un algoritmo capaz de detectar las quemaduras solares en las granadas, fruta utilizada como base, ubicadas en la piel del fruto (Rezaei, Hemmat, & Shahpari, 2018)

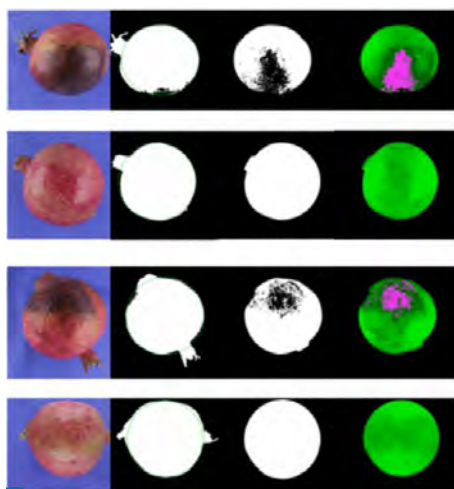


Figura 10 Resultados de aplicar el algoritmo de visión a las granadas. Las manchas rosas indican quemaduras solares.

Fuente: Extraído de (Rezaei et al., 2018).

1.3.4 Sensores

Esta sección lista los instrumentos que proveen de información a nuestra máquina, de este modo sirven como conexión entre la máquina diseñada y entorno para tomar decisiones.

1.3.4.1 Cámara para visión

Dado que las paltas estarán en movimiento, las cámaras candidatas deben tener una buena calidad de *frames per second – FPS* como las cámaras para visión artificial

- Principales características de dos tipos de sensores:

Sensores CCD: elevada calidad, salidas analógicas que necesitan un módulo externo de digitalización (frame grabber)

Sensores CMOS: ya cuentan con salidas digitales, alta velocidad de transmisión de datos, menos consumo eléctrico, menor precio

Tabla 9 Tabla comparativa entre CMOS y CCD.

Fuente: Elaboración propia.

CMOS	CCD
Menos sensible a luz	Más sensible
Más velocidad de captura de imagen	Más lento que el cmos
Menos consumo de energía	Más consumo energético
Calidad de imagen mejorando con nuevas tecnologías	Imagen de alta calidad
Menor precio de cámaras con este sensor	Mayor precio de adquisición en el mercado

- Disposición física:

Cámaras matriciales: formado por una matriz de píxeles

Cámaras lineales: construyen la imagen por proceso de barrido línea por línea para luego integrarla a mayor resolución. Útil si se exceden las dimensiones que puede contener un cuadro de imagen

- Método de barrido:

Se cuentan con dos tipos diferentes: Barrido entrelazado y barrido progresivo

El primero hace un barrido primario y luego uno secundario, el efecto de una imagen en movimiento es el de arrastre.

El escaneo progresivo explora de manera secuencial por lo que se capturan objetos en movimiento a mayor resolución

- Protocolos de comunicación:

Para cámara analógicas: Es usual cable coaxial o fibras ópticas

Para cámaras digitales: Se tienen cameraLink, Gigabit, Ethernet, FireWire, IEEE1394 y USB.

De lo mencionado CMOS tiene más ventajas frente a CCD, matriciales pues el material analizado puede ser contenido en un cuadro de la cámara, barrido progresivo para evitar el desenfoque en movimiento, comunicación USB es ampliamente usado por su alta velocidad de transmisión de datos, no incluye costos adicionales de hardware y porque la mayoría de las computadoras tiene estos puertos.

1.3.4.2 Sensores de presencia

Se necesitarán sensores para determinar si ya se analizó la última fruta. De esta manera, se podrá saber si el proceso ya finalizó.

- Sensor capacitivo

Basado en la variación de la capacitancia, corto alcance, compacto, útil en zonas de difícil acceso.

- Sensor de barrera de fotoeléctrica

Gran alcance, no necesita contacto físico directo, su precisión se basa en la alineación

Tabla 10 Tabla comparativa entre sensores capacitivo y de barrera fotoeléctrica.

Fuente: Elaboración propia.

Sensor capacitivo	Sensor de barrera de fotoeléctrica
Se basa en la variación de capacitancia	Emite y/o recibe un haz de luz. La reflexión determina la distancia
Alcance en el rango de 5-50 mm	Su alcance se encuentra en el orden de los metros con comodidad
Fácil montaje	Requiere de una alineación previa entre el emisor y el receptor o reflector

1.3.4.3 Sensores de fuerza

Se necesitarán sensores capaces de medir el peso de los frutos para poder clasificarlos según su calibre.

- *Strain gauge*

Las galgas extensiométricas se basan en la deformación en un hilo de metal o semimetal que provoca la aplicación de una fuerza: al aplicar una fuerza, cambian la longitud y el área transversal; de esta manera, se modifican los valores de resistencia y tensión. Aunque los cambios en el voltaje son mínimos, es posible su amplificación mediante el uso de OpAmp.

Las celdas de carga comunes cuentan con una configuración de cuatro galgas dispuestas en un montaje *punto de Wheatstone* para aumentar la sensibilidad.

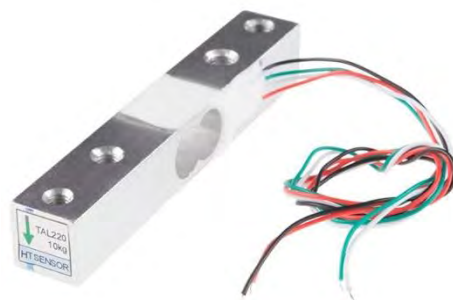


Figura 11 Celda de carga de 10 Kg.

Fuente: <https://www.sparkfun.com/products/13329>.

- Celda de carga hidráulica

Consiste en pistón que soporta una carga. La presión ejercida al fluido y el área del pistón permiten leer de manera indirecta la carga. Destinado principalmente a cargas que varían en el orden de 40 – 900 kg. Se requiere tratamiento especial para los aceites usados con el fin de no contaminar el desagüe.

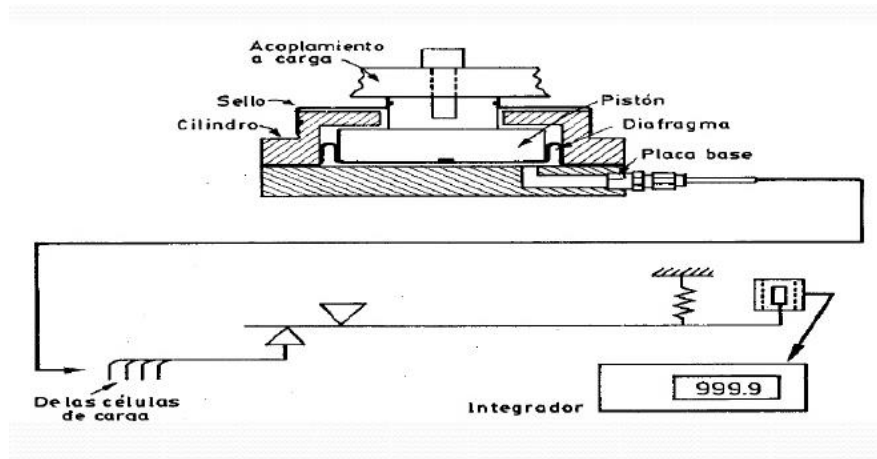


Figura 12 Celda de carga hidráulica.

Fuente: <https://www.scribd.com/document/323406040/Sensores-de-Peso-pdf>

- Celda de carga neumática

Se compara el peso situado en una plataforma con el esfuerzo ejercido por un diafragma, el cual es alimentado por una presión de tarado. La presión de aire alcanzada permite calcular de manera indirecta el peso. Es capaz de medir desde kilogramos hasta toneladas con precisión. Requiere una línea de aire comprimido

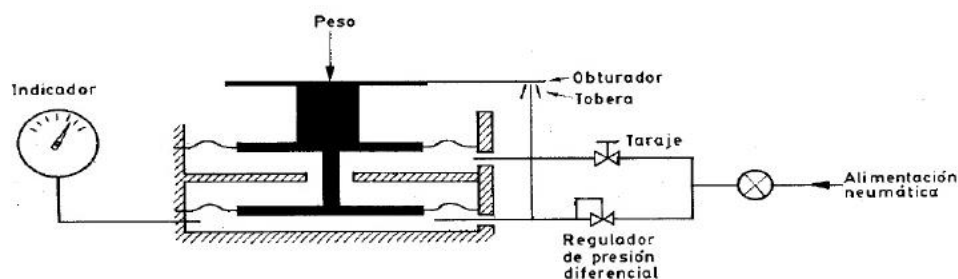


Figura 13 Celda de carga neumática.

Fuente: <https://www.scribd.com/document/323406040/Sensores-de-Peso-pdf>

Tabla 11 Tabla comparativa de las principales características de celdas de carga.

Fuente: Elaboración propia

Galgas extensiométricas	Celda de carga hidráulica	Celda de carga neumática
Precisión aceptable	Altamente preciso	Altamente preciso
Poco mantenimiento	Requiere mantenimiento	Requiere mantenimiento
Bajo costo	Precio elevado	Precio Elevado
Ocupa mínimas dimensiones	Utilizado en grandes instalaciones	Dispone menor espacio que las celdas hidráulicas

1.3.4.2 Sensores de identificación

Se necesitará identificar a la posición de cada palta con su imagen digitalizada para saber el destino de sus contenedores. Existen diversas tecnologías capaces de identificar productos las cuales se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 12 Tabla comparativa entre tecnologías de identificación.

Fuente: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/5441/C2.302.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Parámetros	Código de barras	OCR	Reconocimiento de voz	Biométrica	Tarjetas Inteligentes	RFID
Cantidad de data (Bytes)	1-100					
Densidad de datos	Baja	Baja	Alta	Alta	Muy alta	Muy alta
Legibilidad del lector	Buena	Buena	Cara	Cara	Buena	Buena
Legibilidad ante persona	Limitada	Simple	Simple	Difícil	Imposible	Innacesible
Influencia de la cubierta	Falla total	Falla total	-	Posible	-	No influye
Influencia por dirección	Baja	Baja	-	-	Unidimensional	No influye
Costo de operación	Bajo	Bajo	Ninguno	Ninguno	Médium	
Rapidez de lectura	Baja 4s	Baja 3s	Muy baja 5s	Muy baja 5-10s	Muy baja 4s	Muy rápida 0-5ms
Distancia máxima	0-50cm	1cm	0-50cm	Contacto directo	Contacto directo	0-5m

Dado que se requiere una distancia prudente entre lector y dispositivos, se compararán los tags RFID con el código de barras. Rango de lectura, costo, lectura escritura

Tabla 13 Tabla comparativa entre tecnologías de identificación.
Fuente: Elaboración propia.

Lector RFID	EPC (Código de barras)
No requiere línea de visión	Requiere verificación visual directa
Su velocidad supera 1 unidad / segundo	Más lento, inferior a 1 unidad / segundo
Mayor duración, mayor sensibilidad	Menor duración, menos sensibilidad
Almacena gran cantidad de <i>metadata</i>	Solo almacena código de identificación
Capaz de actualizarse: lectura/escritura	Solo es capaz de leer
Mayor costo de implementación	Barato y sencillo de utilizar

Dentro de las tecnologías RFID, se encuentran 3 clasificaciones según su frecuencia de operación los cuales se procederá a comparar: *Low, High y Ultra High Frequency*

Tabla 14 Tabla comparativa entre tecnologías de RFID.
Fuente: Elaboración propia.

Características	LF	HF	UHF
Frecuencia	[125,134] kHz	13.56 MHz	[433;960] MHz
Rango de lectura	< 10 cm	[0.1;1] m	< 12 m
Sensibilidad	Baja	Ligera	Alta

1.3.5 Actuadores y Mecanismos

Los actuadores realizarán las acciones pertinentes para cumplir con el propósito del sistema.

Además, se presentan mecanismos de utilidad en la disgregación y movilización de las paltas.

1.3.5.1 Actuadores

Se necesitarán actuadores para movilizar el producto sea de manera lineal o circunferencial; así como giros en la palta para analizar totalmente la piel.

- Motor paso a paso:

Ampliamente usados porque controlan el movimiento y la posición del motor. Ofrecen un control de aproximadamente 1-1.8 grados y una velocidad de rotación relativamente alta.

Se debe implementar circuitería de control que defina la secuencia de paso a paso. Es ampliamente usado cuando se requiere precisión y bajos pares motor en el orden kg-cm.



Figura 14 Motor a 25 pasos Nema 23.

Fuente: <https://tienda.bricogeek.com/motores-paso-a-paso/422-motor-paso-a-paso-9-kg-cm.html>

- Motor AC:

Existe una gran gama de este tipo de motores, pueden alcanzar grandes potencias requeridas con facilidad. Existen dos tipos según su ubicación geométrica: síncronas y asíncronas. Dentro de las asíncronas, existen la jaula de ardilla y el rotor bobinado. La diferencia principal radica en el bobinado. Existen algunas diferencias que pueden ser minimizadas con la implementación de la electrónica de potencia, la cual controla la velocidad, corriente de arranque y par con precisión; sin embargo, representa un costo adicional considerable.

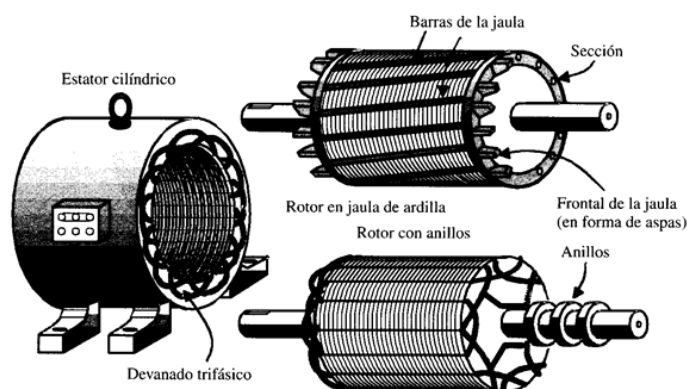


Figura 15 Tipos de máquinas asíncronas AC.

Fuente: <https://www.todoexpertos.com/preguntas/6urnxeyt698frkkn/en-los-motores-asincronicos-hay-dos-tipos-de-rotors>

Tabla 15 Tabla comparativa de motores: Síncrono vs Asíncrono.

Fuente: Elaboración propia.

Motor síncrono	Motor asíncrono
Más costoso	Barato y común
Mejor factor de potencia	Requiere banco de capacitores
Requiere excitatriz y un motor auxiliar en el arranque	Ampliamente usado por su sencillez

Tabla 16 Tabla comparativa AC: Jaula de ardilla vs Rotor bobinado.

Fuente: Elaboración propia.

Características	Jaula de Ardilla	Rotor Bobinado
Torque de arranque	Mediano, se puede reducir con la tensión	Alto, depende de las resistencias rotóricas
Mantenimiento	Fácil y eventual	Difícil y constante
Costo	Más comercial	Alto costo por su construcción
Formas de arranque	Estrella – Triángulo Autotransformador Reduciendo la tensión	Resistencias rotóricas Reduciendo la tensión
Control de velocidad	Cambiando el #polos	Variador de frecuencia

De la misma manera se presenta una tabla comparativa con los principales elementos de transmisión. Cabe resaltar que las condiciones de trabajo tales como niveles de oxidación ambiental, restricciones de ruido, absorción de choques y vibraciones, grandes distancias de transmisión, alto factor de seguridad para carga sensible, etc. Para una correcta elección serán consideradas en la etapa de diseño.

Tabla 17 Tabla comparativa entre elementos de transmisión.

Fuente: Elaboración Propia.

Descripción	Engranaje	Cadena	Faja plana	Faja trap.
Principio físico	Contacto e interacción por forma		Fricción	
Relación de transmisión	≤ 8 normal 20 máx (helicoidal)	≤ 6 normal 10 máx	≤ 5 normal 10 máx	≤ 8 normal 15 máx
Eficiencia	98 – 99%	97 – 98%	96 – 98%	94 – 97%
Velocidad	≤ 200 m/s	≤ 17 m/s	≤ 90 m/s	≤ 26 m/s
Diámetro de paso	$\geq 2\phi_{eje}; \geq 1.2 \phi_{eje}$		$\geq 2\phi_{eje}$	

- Vibradores industriales:

Si al eje se le acopla una masa excéntrica, se obtendrá un motor vibrador eléctrico, los cuáles alcanzan mayores rangos de potencia que los vibradores neumáticos, los cuáles pueden ser más

limpios, duraderos y requieren una línea de aire comprimido. Según el tipo de movimiento, sea circular o lineal, se deberá acoplar uno o dos motores en sentidos opuestos para el propósito requerido como se observa en la Figura 19 y Tabla 18.



Figura 16 Guía para la elección de vibrador según propósito.

Fuente: <https://nosoloherramientas.es/wp-content/uploads/2013/10/Catalogo-Motovibradores-OLI.pdf>

Tabla 18 Tabla guía para elección de motovibrador.

Fuente: Elaboración propia

Procesos de aplicación	Vibración		Revoluciones por minuto					
			50 Hz	750	1000	1500	3000	6000
	Circular	Lineal	60 Hz	900	1200	1800	3600	-
Transporte		X			X	X		

1.3.5.2 Mecanismos de ordenamiento

Se listan los principales mecanismos de disgregación, los cuales tienen por finalidad separar unitariamente las grandes cantidades de productos que alimentan al sistema.

- Por medio de tambor giratorio:

Se introducen los alimentos en un tambor giratorio que los desplaza a los límites por medio de la fuerza centrífuga. Luego, se ordenan linealmente



Figura 17 Ordenamiento en línea por medio de tambor giratorio.

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=XF0ITirteFY&list=PU-TYhRwWlwuV-W4wug9h00Q&index=77>

- Por medio de topes V:

Los topes en V permiten pasar de una gran alimentación de productos a una única salida en fila

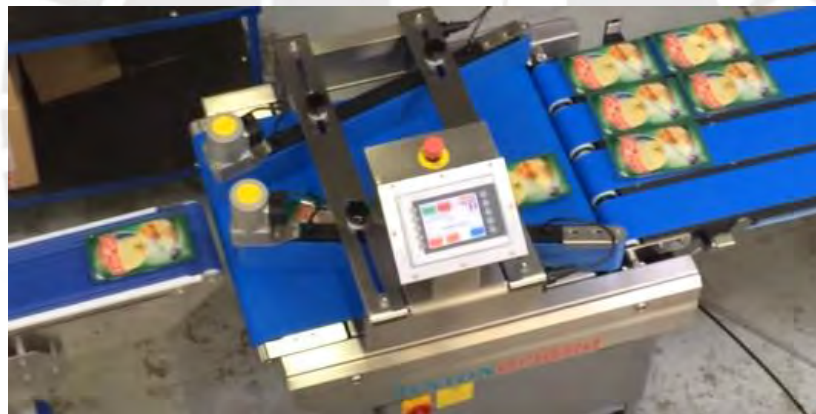


Figura 18 Ordenamiento en línea por medio de topes V.

Fuente: <https://www.jentonariana.co.uk/convergers.html>

- Por medio de fajas:

Las fajas cumplen la función de topes que, además, giran en el sentido adecuado de la dirección para agilizar el proceso y evitar saturación. Las fajas disminuyen la distancia entre sí con el fin de formar una línea.



Figura 19 Ordenamiento en línea por medio de fajas.
Fuente: <http://www.bafupackaging.com/proshow.aspx?id=4>

1.3.6 Controladores

El controlador debe recibir la data proveniente de los sensores y emitir una respuesta a los actuadores con la finalidad de controlar una variable. Se analizarán 2 tipos distintos de hardware existentes que cumplen con esta función.

- PLC:

Los más utilizados actualmente en el mercado internacional de clasificadoras. Son ideales para ámbitos industriales dada su robustez que le permite ser altamente confiable. Aunque pueden contar con una baja cantidad de entradas analógicas inicialmente, es posible su expansión con módulos adicionales.



Figura 20 PLC Logo.

Fuente:

<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/public.1266.high.1547044065.5fbd4efa1102651ad276006e40482b24514620df.7942-basismodule.jpg/7942-basismodule.jpg>

- Microcontroladores:

Actualmente, existe una gran variedad de sistemas embebidos en tarjetas, pues son prácticos y portátiles para tareas específicas. Además, cuentan con múltiples pines analógicos de propósito general. Según el fabricante, la tecnología y el precio, cada microcontrolador puede exhibir las características requeridas para el propósito



Figura 21 Raspberry Pi 3 Model B.

Fuente: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>

1.4 Metodología

El presente trabajo se desarrollará en base a la metodología VDI 2206 y VDI 2221. Se procederá a explicar cómo se desarrolla esta metodología:

- Definir la problemática
- Plantear el objetivo general, el objetivo específico, la propuesta de solución, el alcance y la lista de requerimientos
- Analizar trabajos con ideas afines de estudios anteriores relaciones al estado del arte
- Realizar una matriz morfológica que permita identificar distintos principios de solución
- Proponer conceptos de solución asociados a la matriz morfológica hecha

- Determinar el concepto de solución más óptimo luego de evaluar cada posible solución desde un análisis técnico - económico
- Elaborar los cálculos respectivos a cada subsistema encontrado sean mecánicos, electrónicos o de control
- Dimensionar la máquina presentando planos mecánicos y esquemas eléctricos
- Escoger los sensores y actuadores que cumplirán con las exigencias basados en los cálculos realizados
- Determinar la cotización referente a cada proceso de manufactura como para los materiales a utilizar.



DISEÑO CONCEPTUAL

El segundo capítulo los requerimientos extrapolados a partir del estado del arte realizado en el capítulo anterior; así como la identificación de las entradas y salidas del sistema representado como una caja negra, y los elementos capaces de satisfacer las funciones propuestas organizados en una matriz morfológica que permita obtener posibles soluciones

2.1 Lista de requerimientos

La elaboración de un proyecto requiere de consideraciones que guíen el desarrollo de este. La lista de requerimientos, describe los requerimientos más importantes que se deben considerar para el correcto funcionamiento de la máquina. Se presentan *exigencias*, cuyo cumplimiento es necesario para garantizar el logro de la función principal del sistema, y *deseos*, los cuales pueden realizarse de manera opcional, pues no su omisión no afectará de manera considerable el objetivo principal. Los requerimientos considerados son los siguientes:

- **Función principal:** Clasificar paltas Hass de acuerdo con su tamaño en 5 categorías distintas.
- **Geometría:** Las dimensiones máximas del diseño que comprende la estructura del sistema no deben exceder los valores de 6m metros de largo, 2m de ancho, 2m de alto.
- **Materia entrante:** Paltas enteras tipo Hass.
- **Materia saliente:** Paltas clasificadas por tamaño y calidad de piel en 5 categorías tomando como base la Norma técnica peruana NTP 011.018:2014. (Categoría I y II para tamaños grande y mediano con excelente calidad de piel, categorías III y IV, y V para tamaños grande y mediano con regular calidad de piel y categoría V para paltas con piel dañada).
- **Material:** El material de fabricación debe ser resistente a la corrosión, pues puede estar

expuesto a fluidos desconocidos provenientes de las paltas. Además, debe ser inerte para no reaccionar con la piel del fruto. Se seguirá la norma estándar ANSI/NSF 51.

- **Energía entrante:**
 - Energía mecánica: El ingreso de las paltas almacena energía potencial
 - Energía eléctrica: Energía eléctrica necesaria para alimentar sensores, actuadores y al controlador
- **Energía saliente:**
 - Energía mecánica: Movimiento de mecanismos para la clasificación de los frutos
 - Energía sonora: Alarma sonora para indicar estados del proceso y emergencias
 - Energía lumínica: Luz emitida de la interfaz
- **Seguridad:** La máquina debe mantener la integridad física del operario. Cabe resaltar que, durante el funcionamiento, el operario se encuentra sujeto a mínimos riesgos; sin embargo, se contará con medidas de seguridad ante algún imprevisto. Se seguirá el estándar internacional OHSAS 18001 recogido en la ley peruana 29783 y la norma técnica peruana NTP 370.053:1999 para la seguridad eléctrica
- **Señales entrantes:** Inicio del proceso, detención del proceso, parada de emergencia, encendido/apagado de la máquina.
- **Señales salientes:** Cantidad de paltas clasificadas por categoría, estado del proceso, fallas ocurridas.
- **Cinemática:** La máquina presentará un canal vibratorio que permitirá acomodar las paltas en fila hasta la siguiente estación en donde se discriminará el producto según los criterios de aspecto. Se desea una velocidad de procesamiento mínima superior a 40kg por hora.
- **Control de calidad:** La máquina debe cumplir con especificaciones de la Norma Técnica Peruana NTP 011.0.18:2014 PALTAS
- **Fabricación:** La fabricación se podrá llevar a cabo en un taller local, ya que se utilizarán

materiales de fácil adquisición en el mercado local.

- **Montaje:** El sistema permanecerá fijo durante su funcionamiento. Sin embargo, algunos componentes podrán ser desmontables para darles el respectivo mantenimiento
- **Uso:** El desarrollo de los procesos no debe ser afectado por las condiciones ambientales: esta máquina será diseñada para ser usada en interiores con un rango de temperatura ambiente entre 15°C y 30°C; mientras que el ambiente debe ser libre de humedad para evitar el daño de la cámara. Uso relativamente sencillo y sin necesidad de capacitación previa. Se adjuntará manual operativo del proceso para el operario.
- **Ergonomía:** La interacción del operario con la máquina se presenta durante el volcado de paltas hacia el recipiente de entrada, el manejo de la interfaz de usuario y el retiro de las paltas clasificadas. El diseño debe evitar que el operario tome posturas que comprometan su integridad física, para ello se considera la norma ISO 11228, respecto a la manipulación de pequeñas cargas a frecuencias elevadas.
- **Mantenimiento:** Se requiere que la máquina tenga un mantenimiento de bajo costo, tal que pueda ser realizado por el propio operario. Se sugiere una limpieza semanal del material con contacto directo tales como la estructura y cámara, así como una inspección mensual de los actuadores cuyo contacto es indirecto.
- **Control:** Se realizará el control sobre las variables de presencia de paltas, captura y procesamiento de imagen, selección de calibre o tamaño.
- **Transporte:** La máquina pueda ser transportable en módulos para facilitar su ensamblaje e instalación.
- **Interfaz de usuario:** Constará de elementos que permitan visualizar el estado de determinadas variables del sistema, así como aquellos que sirvan para ingresar las señales de configuración y funcionamiento. Se seguirá la norma ISO 9241: Interacción hombre – máquina (interfaz).

2.2 Estructura de funciones

Para una mejor visualización de las funciones, se ha agrupado las mismas en 5 subsistemas: Subsistema de Medición, Subsistema de Actuación, Subsistema de Materia, Subsistema de Control y Subsistema de Interacción con el Usuario.

2.2.1 Black box del sistema

Se puede representar la función principal del sistema mediante un *black box* como se muestra en la Figura 25, la cual incluye una leyenda de flechas según la naturaleza de la entrada/salida. La abstracción de la caja negra muestra cuáles son las entradas y salidas sin detallar los procesos internos del sistema. Según las funciones y requerimientos listados en este capítulo, el material ingresante son las paltas Hass sin clasificar, las cuales luego de recorrer las estaciones del sistema se convierten en paltas clasificadas según su calibre y calidad de piel, vale destacar que también se separan los frutos defectuosos no aptos para el consumo. Los sensores y actuadores serán alimentados con energía eléctrica, como resultado se produce energía acústica debido a las alarmas; lumínica por la luz emitida por la interfaz; térmica y cinética producto del movimiento de los actuadores. Además, el usuario debe introducir las señales de inicio, detención y/o parada de emergencia según el estado del proceso. Finalmente, las señales de salida proveen información de la situación actual del proceso.

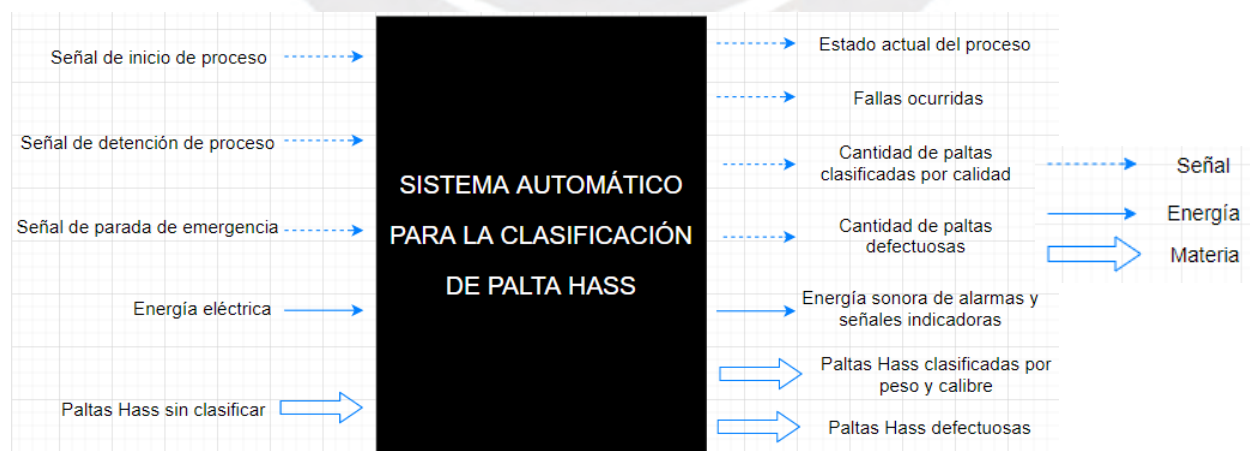


Figura 22 Black Box del sistema de clasificación de paltas Hass.
Fuente: Elaboración propia.

2.2.2 Lista de funciones

A continuación, se presentan las funciones del sistema ensamblado agrupadas por subsistema para facilitar el cumplimiento de tareas por módulos.

2.2.2.1 Funciones del subsistema de medición

- Registrar presencia: Previa a la medición de tamaño para la identificación del producto.
- Detectar calidad de piel: Para identificar las paltas que se encuentren dañadas externamente.

2.2.2.2 Funciones del subsistema de actuadores

- Movilizar paltas: Trasladar las paltas para, posteriormente, ser disgregadas y clasificadas
- Alinear paltas: Ordenar y disgregar los frutos en fila previo al análisis
- Posicionar paltas: Transportar los frutos que previamente han sido ordenados
- Seleccionador de paltas: Enviar paltas clasificadas a su respectivo destino

2.2.2.3 Funciones del subsistema de energía

- Acondicionar energía de actuadores: Regulador que ajustará el voltaje para el correcto funcionamiento del subsistema de actuadores
- Acondicionar energía de sensores: Regulador que ajustará el voltaje para el correcto funcionamiento del subsistema de sensores
- Acondicionar energía de controlador: Regulador que ajustará el voltaje para el correcto funcionamiento del subsistema del controlador

2.2.2.4 Funciones del subsistema de control

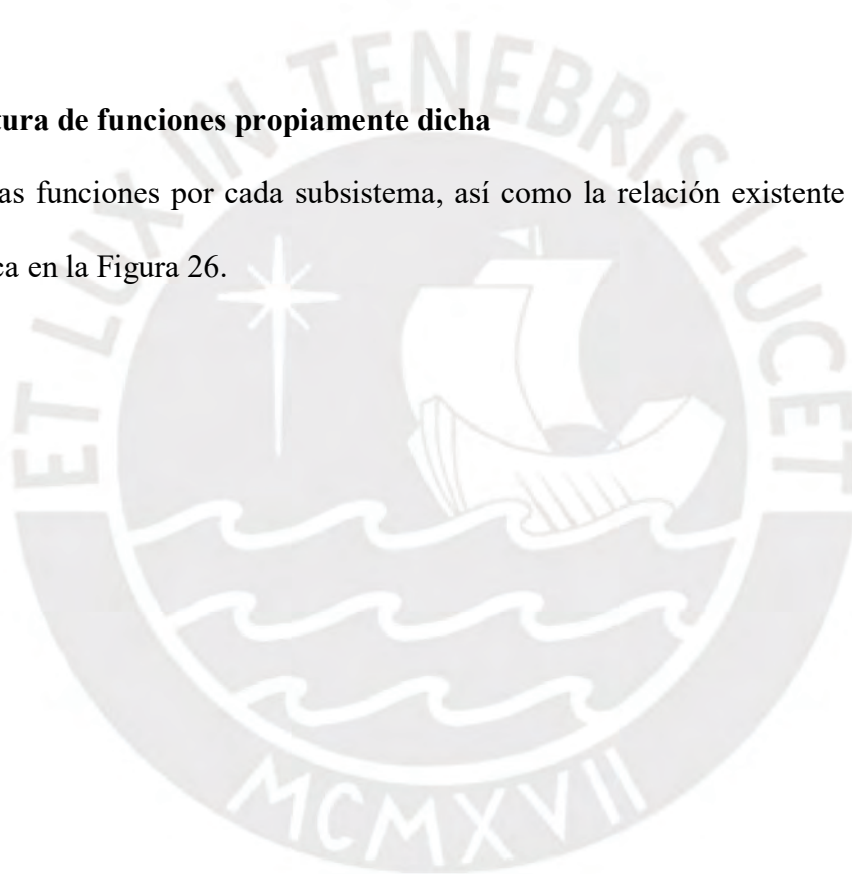
- Controlar variables: Controlador encargado de procesar las señales enviadas por los sensores para emitir órdenes a los actuadores

2.2.2.5 Funciones del subsistema de materia

- Recibir paltas: Disposición mecánica por la cual se ingresarán los frutos
- Recolectar paltas clasificadas: Estructura en donde reposarán las paltas clasificadas

2.2.3 Estructura de funciones propiamente dicha

Se presenta las funciones por cada subsistema, así como la relación existente entre ellas de manera gráfica en la Figura 26.



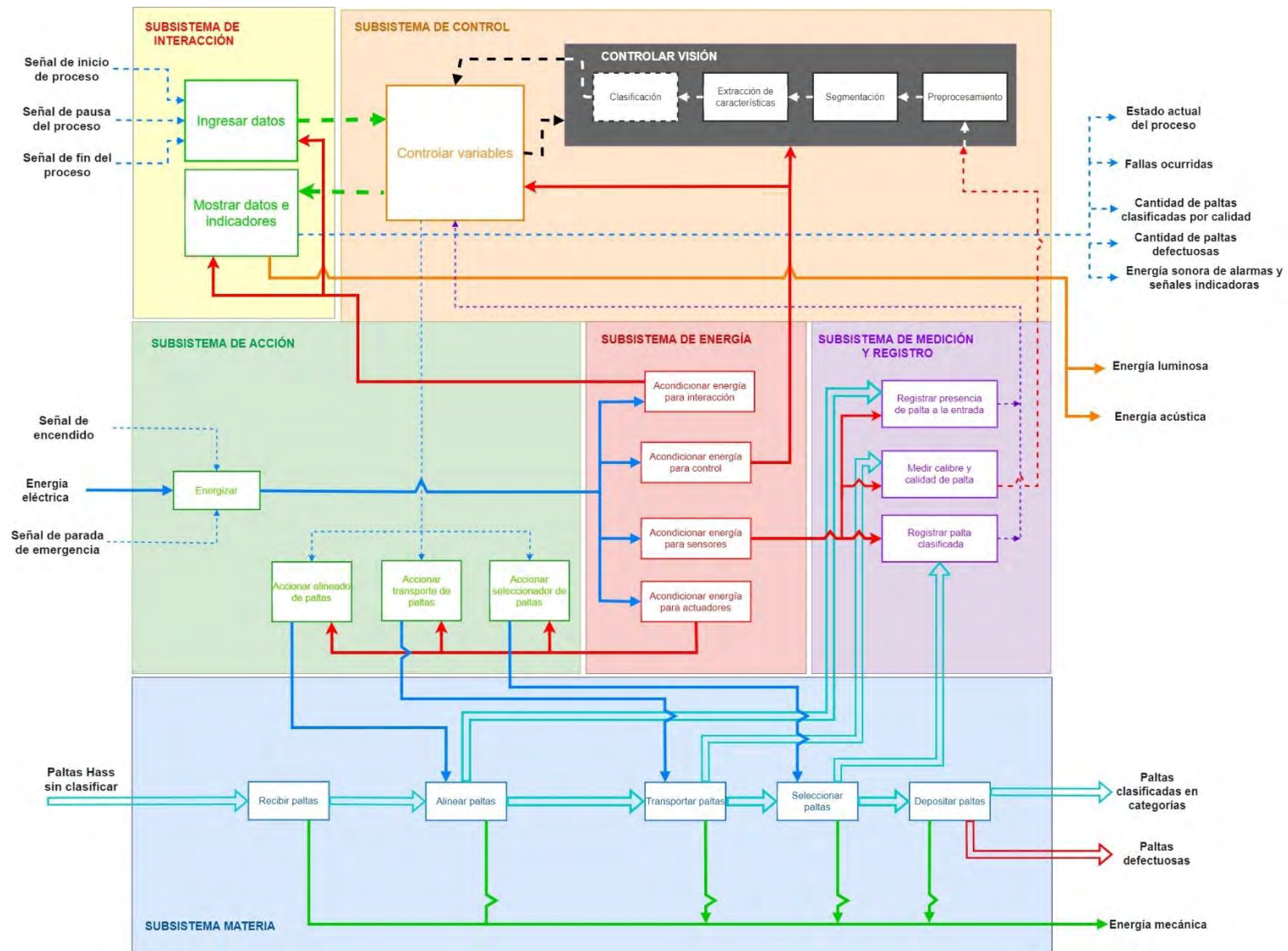


Figura 23 Estructura de Funciones del sistema de clasificación de paltas Hass.
Fuente: Elaboración propia.




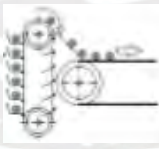





2.3 Matriz morfológica

Tomando como base la investigación realizada en el estado del arte, es posible plantear tres principios de funcionamiento distintos como solución a las funciones de cada subsistema. Al concatenar distintos principios, se formará un concepto de solución. La matriz morfológica que se presenta pretende organizar soluciones de manera secuencial mediante la unión por flechas. La siguiente Figura 27 identifica el número de concepto de solución con un color de flecha.



Figura 24 Leyenda de flechas para matriz morfológica.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19 Matriz morfológica.
Fuente: Elaboración propia.

SUBSISTEMA	FUNCIÓN	PORTADOR 1	PORTADOR 2	PORTADOR 3
Subsistema de Recepción	Recepcionar paltas	Manual 	Faja 	Tolva 
	Transportar paltas	Cangilones 	Rodillos giratorios 	Tambor giratorio 
	Accionar transporte de paltas	Motor AC 	Vibrador neumático 	Motovibrador AC 


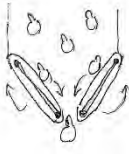








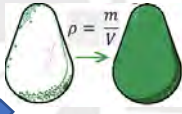







	Ordenar paltas			
	Accionar ordenamiento de paltas	Motor AC 	Motor DC 	Motovibrador 
	Registrar presencia de paltas	capacitivo 	infrarrojo 	ultrasonido 

Tabla 19 Continuación – Matriz morfológica.

SUBSISTEMA	FUNCIÓN	SOLUCIÓN 1	SOLUCIÓN 2	SOLUCIÓN 3
Subsistema de Selección	Medir peso de paltas	Celda de carga 	Convertir volumen a peso $\rho = \frac{m}{V}$ 	Contar pixeles  16×16 24×24 32×32
	Adquirir imagen de paltas	Visión artificial 	Visión de operario 	
	Posicionar paltas	Circuito circunferencial 	Cazoletas cíclicas 	
	Accionar posicionamiento de paltas	Motor a pasos 	Motorreductor 	


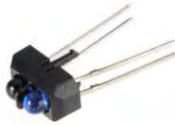

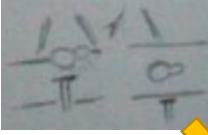
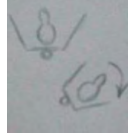

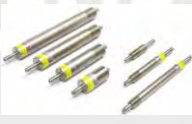













	Registra presencia de palta	Sensor inductivo 	Sensor óptico 	Sensor ultrasónico 
	Seleccionar paltas	Contacto con actuador 	Volcadura de cazoleta 	Aire comprimido 
	Accionar selección de paltas	Actuador lineal eléctrico 	Servomotor 	Inyector de aire 

Tabla 19 Continuación – Matriz morfológica.

SUBSISTEMA	FUNCIÓN	SOLUCIÓN 1	SOLUCIÓN 2	SOLUCIÓN 3
Subsistema Energizar	Energizar actuadores	Fuente lineal 	Fuente conmutada 	Transformador + rectificador 
	Energizar sensores	Fuente lineal 	Fuente conmutada 	Transformador + rectificador 
	Energizar controladores	Fuente lineal 	Fuente conmutada 	Transformador + rectificador 
Subsistema de Control	Controlar variables sensadas	PLC 	Sistema embebido 	

	Procesar imagen de visión	Sistema Embebido 	microprocesador 	PC 
Subsistema Interfaz	Visualizar datos y/o estadísticas	Pantalla HMI 	Pantalla TFT-LCD 	
	Mostrar señales de alerta	Lámpara de luz con sonido 	 	

2.4 Concepto de Solución

A partir de cada solución formada en la matriz morfológica se presentan los conceptos de solución mediante un bosquejo que muestra las características más relevantes de la propuesta. En el contenido siguiente se presentan los 3 conceptos de solución obtenidos.

- Solución 1

El primer concepto de solución utiliza cangilones para movilizar las paltas que recibe el sistema. Mediante la rotación de un tambor giratorio, se consigue distribución en filas más ordenada, pues las paltas atravesarán la canaleta para ser trasladadas hacia las cazoletas. Las cazoletas serán analizadas por medio de la cámara de visión que determinará el almacén apropiado según la piel externa. Finalmente, las cazoletas se alinearán al destino correcto por medio de un muelle para luego volcarse hacia la derecha con el fin de enviar las paltas a su depósito apropiado. Este último tramo será ejecutado por un actuador en la abrazadera que será activado durante la alineación final.

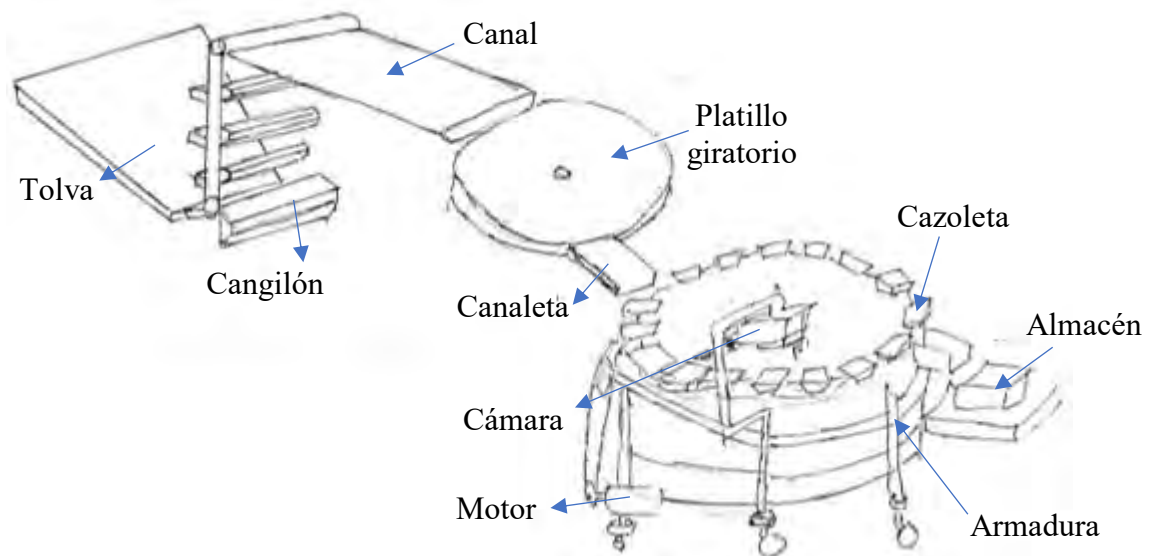


Figura 25 Vista isométrica del concepto de solución 1.
Fuente: Elaboración propia.

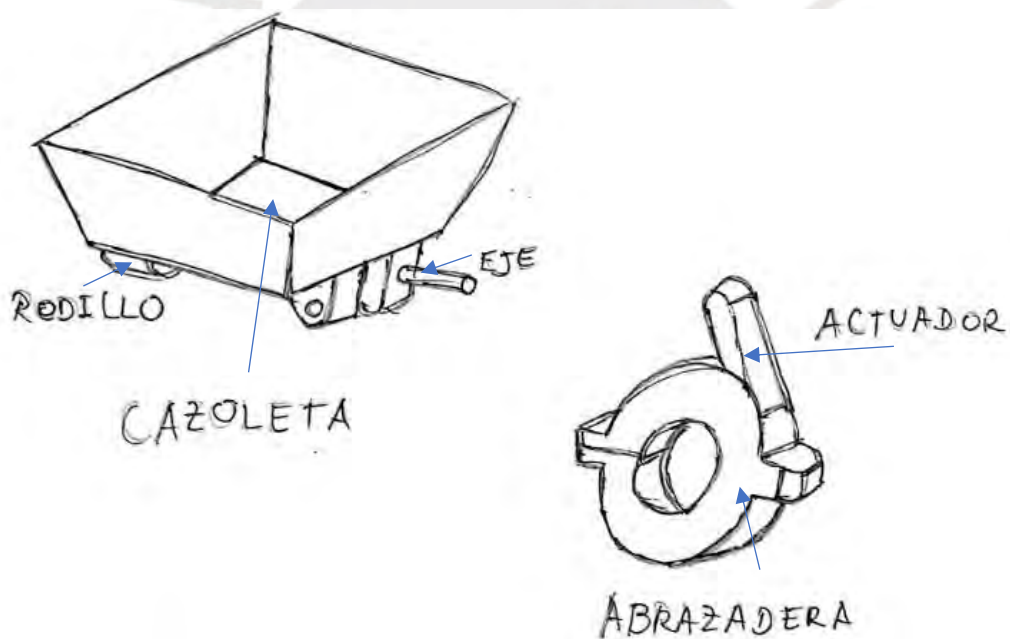


Figura 26 Detalle de la cazoleta del concepto de solución 1.
Fuente: Elaboración propia

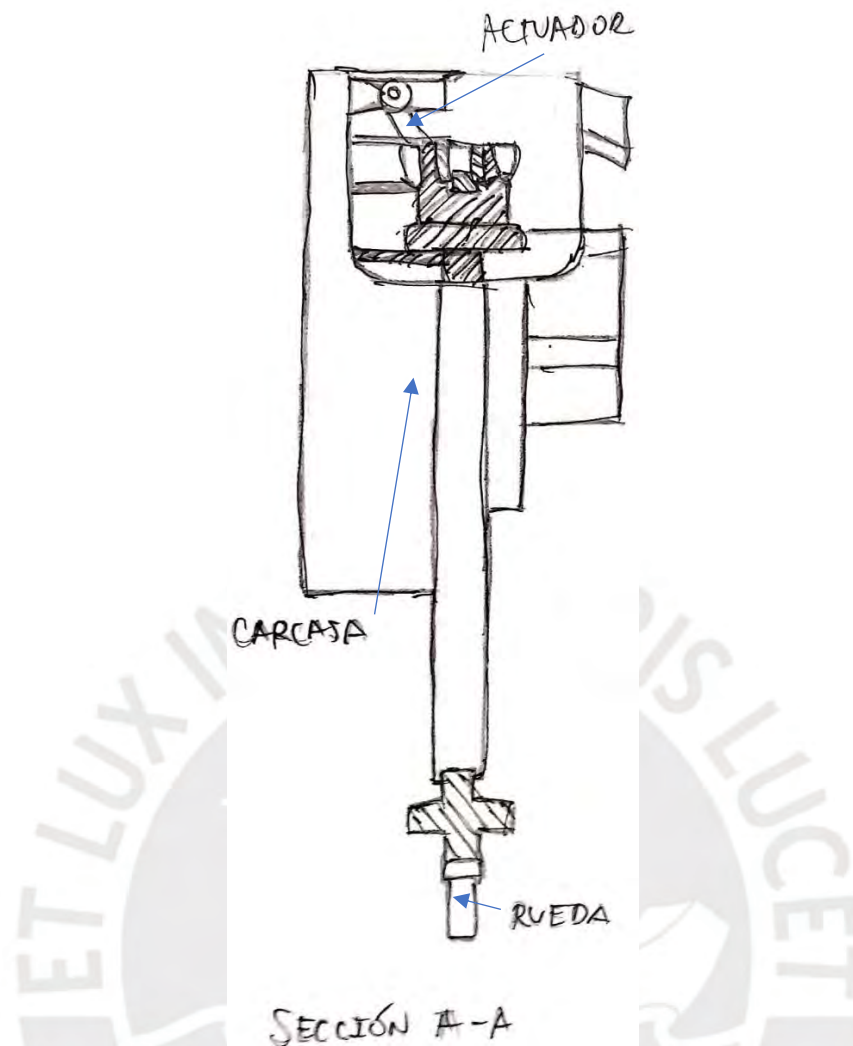


Figura 27 Detalle de la armadura del concepto de solución 1.
Fuente: Elaboración propia

- Solución 2

El último concepto de solución dosifica el ingreso de paltas mediante un motor excéntrico que permite el flujo de paltas a través de compuertas retráctiles que vuelven a su posición original debido a la ubicación de un muelle de torsión sobre la bisagra. Los frutos se trasladan sobre platos con una cavidad que cuenta con un rodillo en el centro, este rodillo junto a una barra serán los encargados de rotar la palta para examinar su piel por ambas caras. El par de cámaras adquirirá la imagen de los frutos y ordenará una acción basada en su código RFID. La lectora, al identificar el código, ordenará la acción de un cilindro neumático que volcará el producto por la resbaladera respectiva

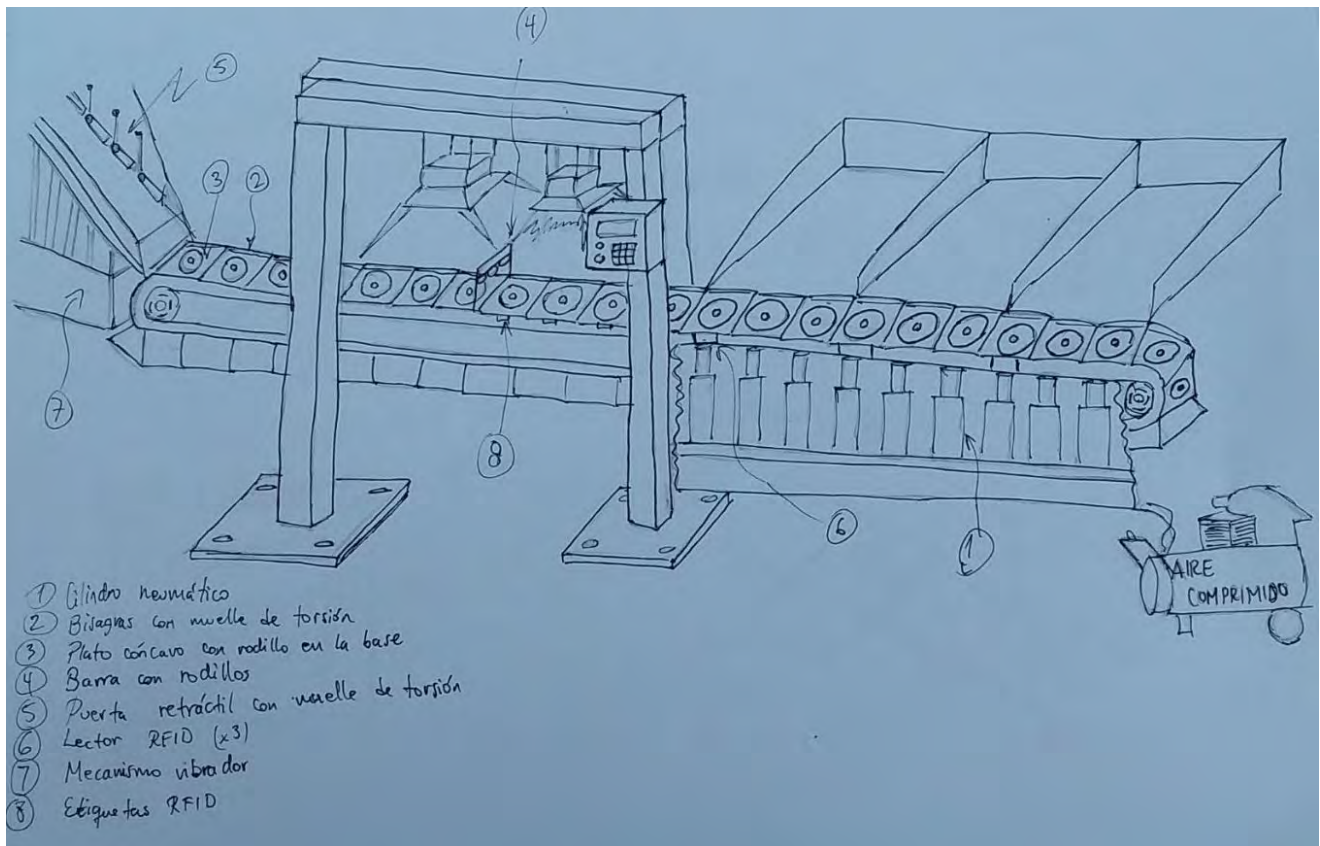


Figura 28 Vista isométrica del concepto de solución 2.

Fuente: Elaboración propia.

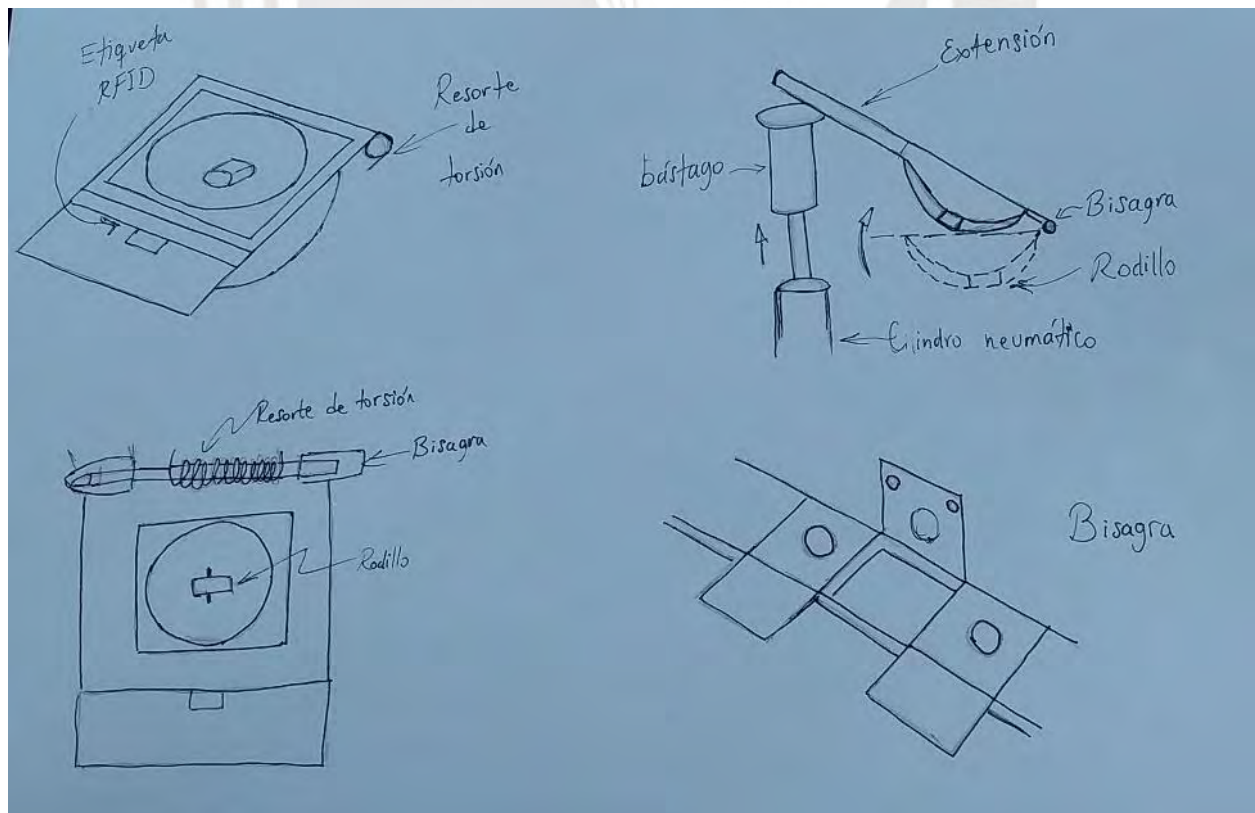


Figura 29 Detalles del concepto de solución 2.

Fuente: Elaboración propia.

- Solución 3

El último concepto de solución contempla una bandeja que recibe a las paltas entrantes. A su vez, las moviliza mediante vibraciones provocadas por un vibrador neumático. Además, la estructura cuenta con rodillos superiores deformables que evitan el amontonamiento vertical. Al finalizar del camino se encuentra otro rodillo deformable que se encarga de alinear las paltas preparándolas para el posterior desplazamiento en sentido inverso. Esta traslación es facilitada por rodillos/fajas, los cuales a su vez cumplirán la función de segregar los frutos en fila. De esta manera, el producto es analizado por cámara de visión, la cual procesa la imagen y extrae información sobre las dimensiones y la piel superficial. Finalmente, el cañón respectivo es accionado para enviar la palta clasificada al depósito correspondiente

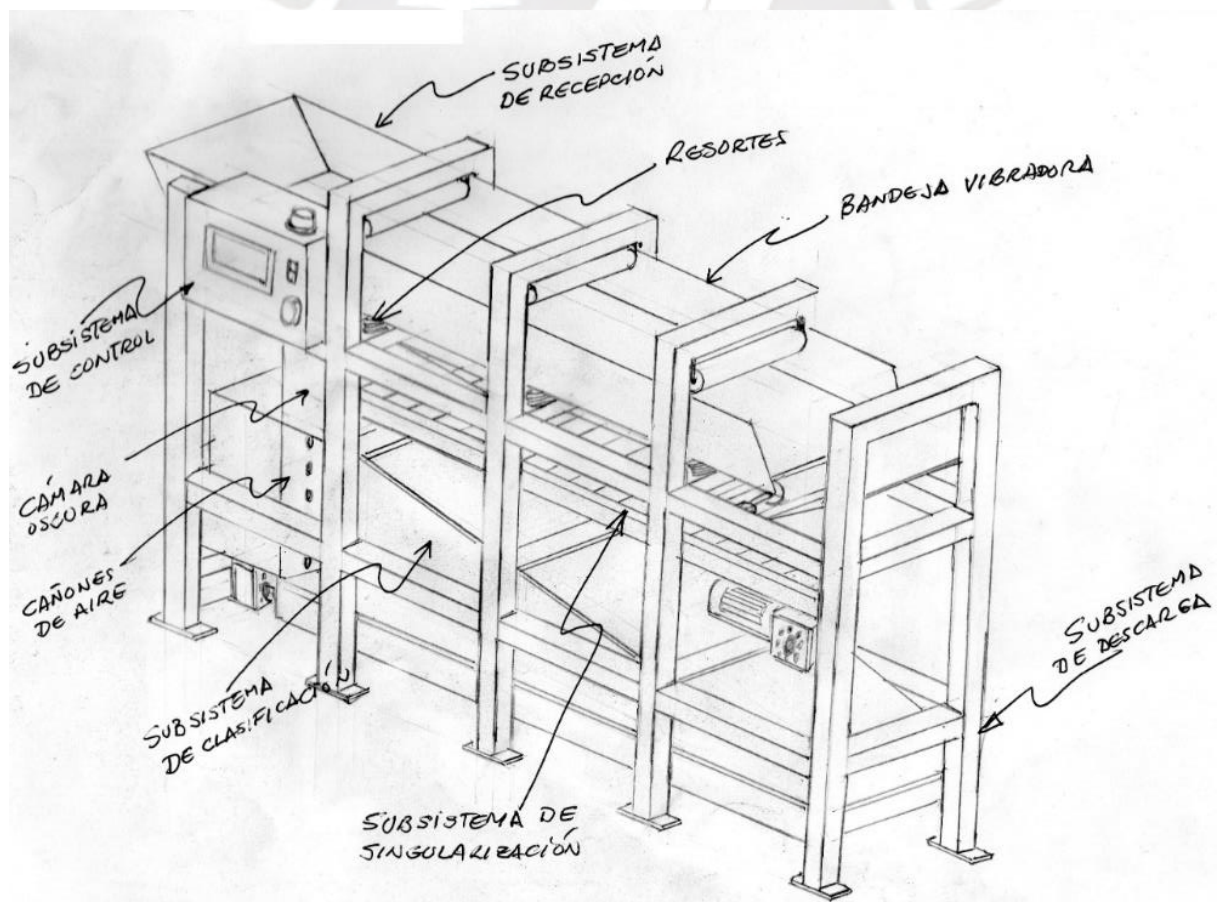


Figura 30 Vista isométrica del concepto de solución 3.
Fuente: Elaboración propia

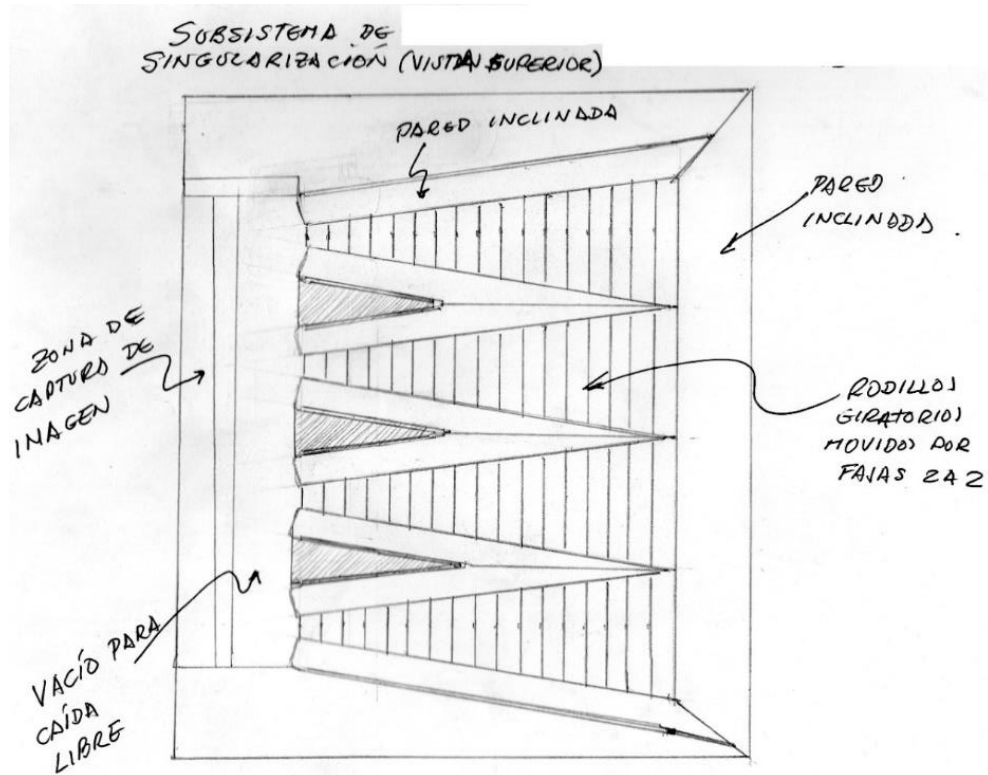


Figura 31 Vista superior del subsistema de singularización
Fuente: Elaboración propia

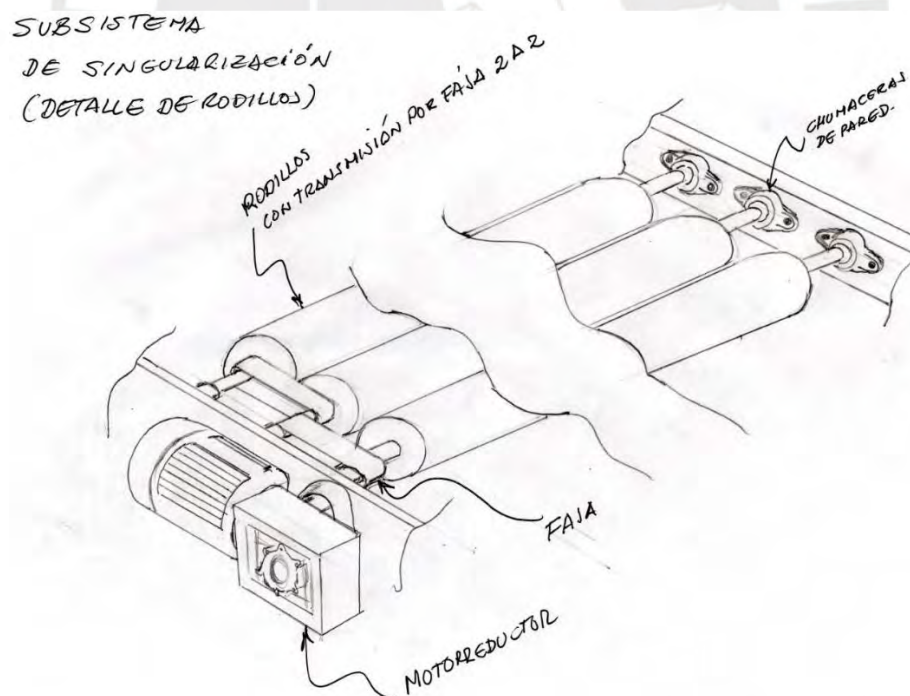


Figura 32 Detalle de rodillos en el subsistema de singularización
Fuente: Elaboración propia

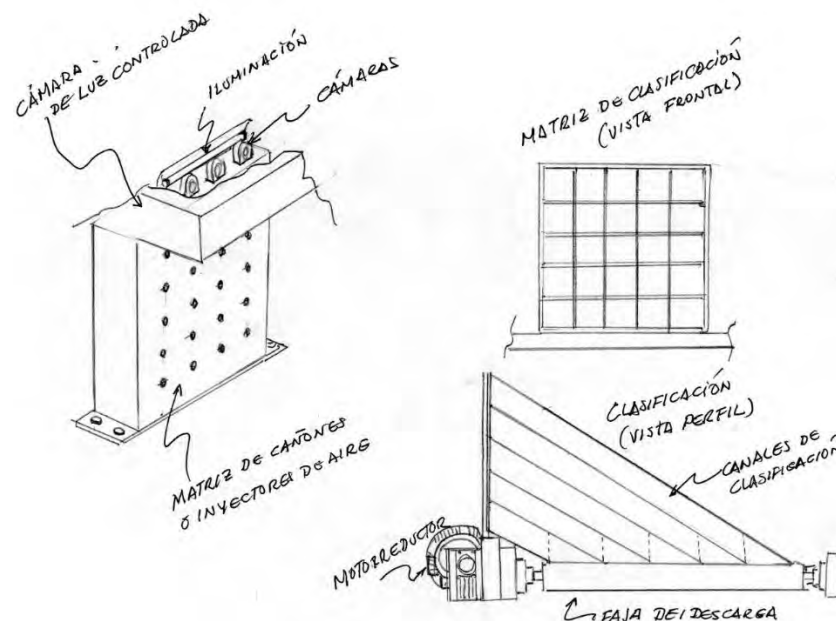


Figura 33 Vista posterior del subsistema de clasificación

Fuente: Elaboración propia

2.5 Evaluación técnica

Se realizará un análisis a nivel técnico y económico a cada concepto de solución con el fin de determinar la solución óptima. Basándose en criterios, se procederá a cuantificar cada categoría con un puntaje que se multiplicará según el peso que el diseñador otorgue de acuerdo a la importancia que se le asigne a dichas categorías. La multiplicación se comparará con su análogo ideal, el resultado de tal ponderación servirá para saber qué tan buenas son las soluciones que se han propuesto respecto a una solución ideal, cuyas cualidades más valiosas gozan de mayor peso. En la siguiente Tabla 22 y Tabla 23 se muestran los criterios, puntajes(pu), pesos(pe) y promedios a nivel técnico – económico. La asignación de pesos se realizó tomando como base el objetivo, la lista de exigencias del proyecto y las funciones principales de cada subsistema.

Indicadores técnicos:

- Velocidad de procesamiento: Rapidez del ciclo completo. Se mide en toneladas, frutos o lotes por hora
- Calidad de trabajo: Eficiencia de clasificación

- Golpes mecánicos: Cantidad y fuerza para provocar daños en la piel
- Compacticidad: Tamaño de las piezas mecánicas con mayores dimensiones
- Modularidad: Capacidad del sistema para subdividirse en módulos más sencillos
- Fácil manipulación: Facilidad de uso para un operario no familiarizado
- Confiabilidad: Probabilidad de que un fallo comprometa la integridad del personal
- Consumo de energía: Cantidad de kW-h consumida durante su funcionamiento
- Seguridad: Magnitud de los daños que un posible fallo podría originar
- Transportabilidad: Facilidad para movilizar las piezas no ensambladas
- Complejidad: Nivel de dificultad según su ensamble, operación y mantenimiento

Se considera decisivos a la velocidad de procesamiento, calidad del trabajo y golpes mecánicos, pues tienen un impacto directo tanto en la productividad como en la eficiencia de la máquina para generar una correcta clasificación

Tabla 20 Evaluación técnica.
Fuente: Elaboración propia.

Aspecto Técnico		Solución 1			Solución 2		Solución 3		Sol. Ideal	
Nro	Criterio	Pe	Pu	Pu*Pe	Pu	Pu*Pe	Pu	Pu*Pe	Pu	Pu*Pe
1	Vel.Procesamiento	3	3	9	2	6	3	9	4	12
2	Calidad de trabajo	4	3	12	3	12	3	12	4	16
3	Golpes mecánicos	4	3	12	1	4	3	12	4	16
4	Compacticidad	3	2	6	2	6	3	9	4	12
5	Modularidad	3	2	6	2	6	3	9	4	12
6	Fácil manipulación	3	2	6	2	6	3	9	4	12
7	Confiabilidad	3	2	6	2	6	3	9	4	12
8	Consumo energía	1	2	2	2	2	3	3	4	4
9	Seguridad	3	3	9	3	9	3	9	4	12
10	Transportabilidad	2	2	4	2	4	2	4	4	8
11	Complejidad	2	2	4	2	4	2	4	4	8
Suma				76	65		89		112	
Suma relativa				0.68	0.58		0.79			

Indicadores económicos:

- Número de piezas: Cantidad total de piezas necesarias
- Adquisición de material: Facilidad para conseguir la estructura mecánica
- Productividad: Valor dependiente de los tiempos muertos y las velocidades
- Costos adicionales: Fondos adicionales no contemplados en el presupuesto
- Presupuesto: Monto total conformado por servicios, mano de obra y material
- Mermas: Pérdidas ocasionadas por el sistema
- Fácil montaje: Facilidad con que el personal monta la máquina
- Mantenimiento: Gastos rutinarios destinados a promover la longevidad y el correcto funcionamiento de las piezas

La productividad, las mermas y el presupuesto tienen una consecuencia directa en la rentabilidad de la máquina; por lo que son considerados indicadores imprescindibles en la decisión de adquirir dicho sistema.

Tabla 21 Evaluación económica.
Fuente: Elaboración propia.

Aspecto Económico		Solución 1			Solución 2		Solución 3		Sol. Ideal	
Nro	Criterio	Pe	Pu	Pu*Pe	Pu	Pu*Pe	Pu	Pu*Pe	Pu	Pu*Pe
1	Nro.Piezas	2	1	2	1	2	3	6	4	8
2	Adquisición material	3	3	9	3	9	3	9	4	12
3	Productividad	4	2	8	2	8	3	12	4	16
4	Costos adicionales	2	3	6	2	4	2	4	4	8
5	Presupuesto	3	2	6	2	6	3	9	4	12
6	Mermas	3	3	9	2	6	3	9	4	12
7	Fácil montaje	2	2	4	2	4	2	4	4	8
8	Mantenimiento	2	2	4	2	4	2	4	4	8
Suma				48		43		57	32	84
Suma relativa				0.57		0.51		0.68		

Tabla 22 Leyenda de puntajes.
Fuente: Elaboración propia.

Puntajes	
0	No satisface
1	Satisface ligeramente
2	Suficiente
3	Bueno
4	Ideal

Los valores ponderados se mostrarán apreciables en el siguiente gráfico de la Figura 38.

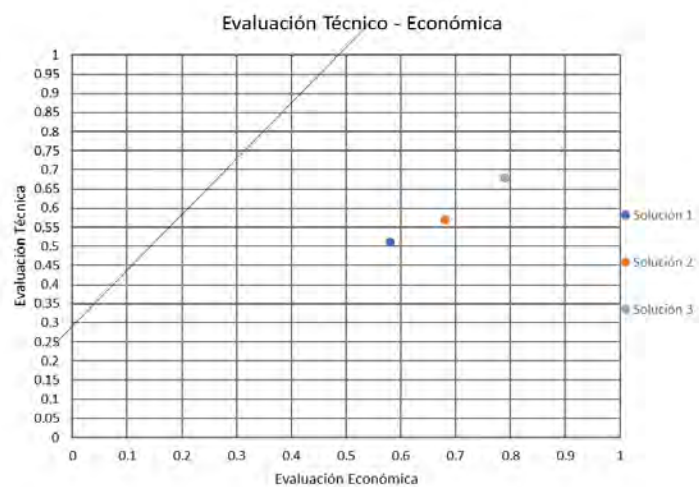


Figura 34 Gráfico comparativo técnico – económico de los conceptos de solución.
Fuente: Elaboración propia

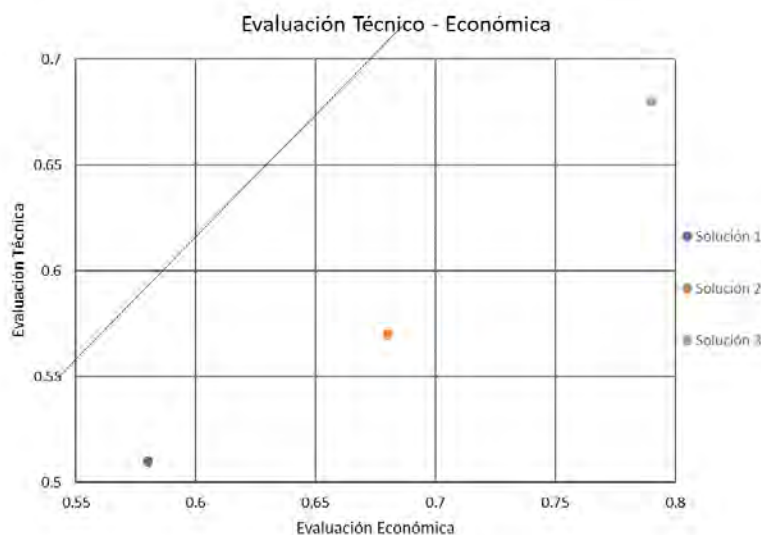


Figura 35 Acercamiento al gráfico comparativo técnico – económico de los conceptos de solución.
Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, se muestra una correlación lineal 1:1 entre los aspectos técnico - económicos donde el lado derecho representa un aumento en ventajas económicas, mientras que el lado superior un aumento en ventajas técnicas. Dada la ubicación del promedio ponderado de la solución 3, se concluye que esta es la solución que presenta mayores ventajas que las demás, la cual se desarrollará en el siguiente capítulo con el fin de obtener el posterior diseño final.

2.6 Concepto de solución óptimo

La siguiente Figura 36 muestra la vista isométrica del ensamble final, en ella se puede apreciar la relación entre subsistemas contiguos desde la recepción de las paltas hasta la descarga del producto final. El ensamble general está compuesto de 4 subsistemas principales: el proceso inicia cuando el operario vierte las jabas de paltas sobre la bandeja de recepción, el subsistema de recepción se encarga de eliminar el aglomeramiento vertical del producto, mientras simultáneamente desplaza el conjunto por medio de un sistema de vibraciones. Cabe resaltar que existe una transición de rodillos – resbaladera entre el actual y siguiente subsistema, esta transición evita daños sobre la piel del fruto. El siguiente subsistema de singularización, tiene por finalidad individualizar las paltas en las líneas de producción necesarias: 2 para el caso actual. El método de singularización consiste en rodillos giratorios por transmisión de fajas 2 a 2 encargadas del desplazamiento y guías propicias colocadas para dirigir el movimiento. El tercer subsistema se trata de la clasificación, para lo cual se utilizará una cámara ubicada al término de la singularización con el fin de brindar información sobre defectos y tamaño de la piel. En base a la información brindada, el controlador debe decidir qué pistón debe ser accionado para volcar al fruto. La transición al almacén de despacho está dirigida por una resbaladera de baja pendiente.

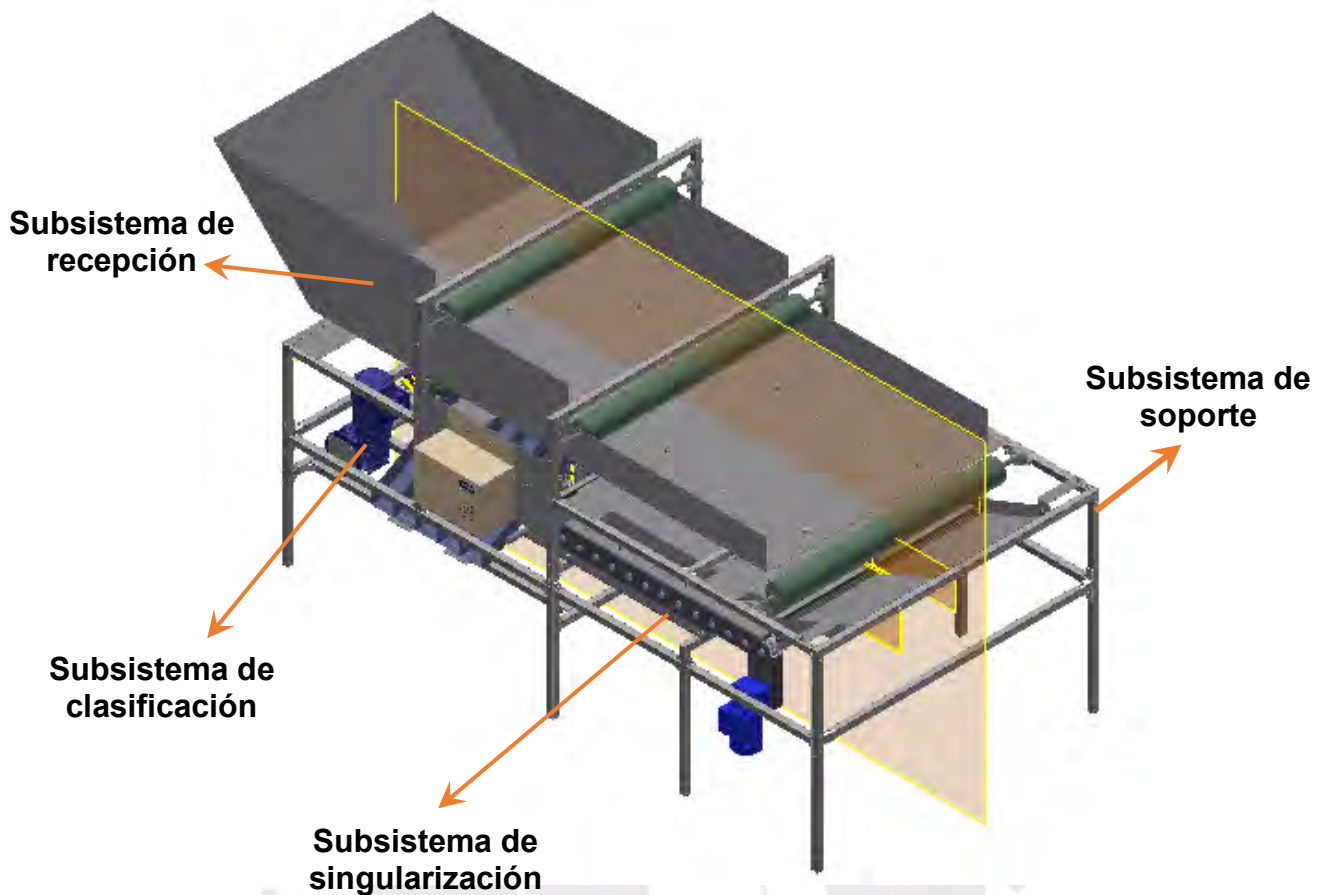


Figura 36 Vista isométrica del ensamble general
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 40 se muestra la interfaz sobre una base soldada a la estructura. La caja de la interfaz se coloca 1m sobre el nivel del suelo para cumplir los requisitos ergonómicos siempre y cuando el operario introduzca o lea los datos sentado.

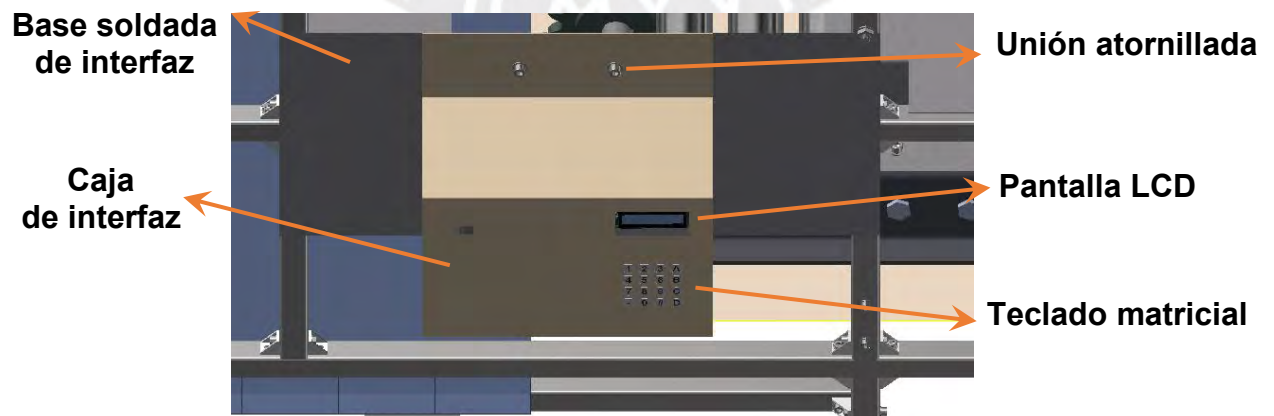


Figura 37 Interfaz de usuario.
Fuente: Elaboración propia

Se puede observar los componentes neumáticos en la Figura 41. Este sistema es el encargado de proveer aire comprimido al cilindro de simple efecto en el subsistema de clasificación.

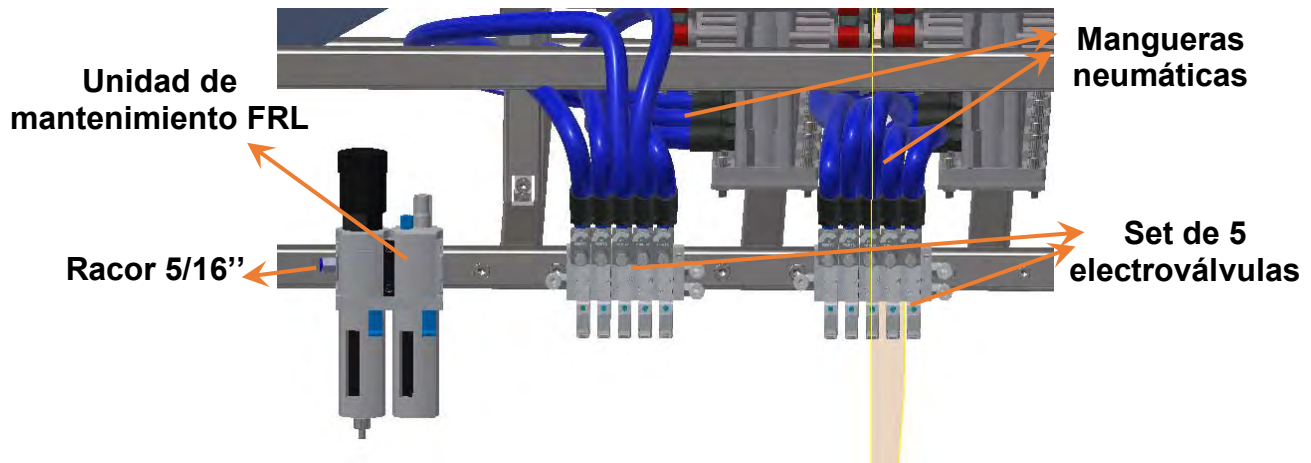


Figura 38 Sistema neumático.
Fuente: Elaboración propia

La ubicación de la cámara de visión entre el fin del sistema de singularización y el comienzo de la clasificación se aprecia en la Figura 42. La cámara actúa como un doble sensor al determinar la presencia de paltas y registrar información de la superficie

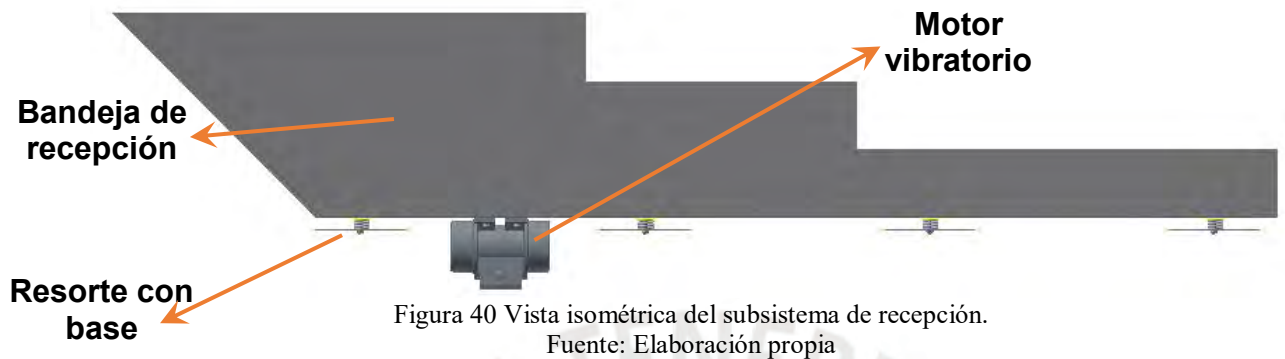


Figura 39 Cámara de visión alineada.
Fuente: Elaboración propia

2.6.1 Subsistema de recepción

La siguiente Figura 43 muestra las partes mecánicas que conforman el subsistema de recepción: una bandeja que asienta las paltas que ingresa el operario, un motor vibratorio que desplaza ligera y periódicamente a las paltas, y un sistema de resortes para conservar la funcionalidad

del sistema. Todas las uniones se sujetan mediante tornillos, arandelas y tuercas. Además, se coloca una rodaja de caucho en la sujeción bandeja – motovibrador para evitar la filtración de líquidos, de esta forma se garantiza un largo tiempo de vida.



Se puede observar en la Figura 44 la adición de 2 vigas rectangulares intermedias entre la bandeja de recepción y la estructura para aumentar la rigidez del subsistema y evitar la deflexión de la base de la bandeja debido a su propio peso y el peso concentrado de las paltas ingresantes.



La siguiente tabla lista los actuadores utilizados en el proceso, así como las variables manipuladas involucradas en este subsistema.

Tabla 23 Tabla resumen de actuadores – sensores para la recepción.

Fuente: Elaboración propia

Actuador	Variable manipulada
Motovibrador	Fuerza centrífuga (kgf)

2.6.2 Subsistema de Singularización

En la Figura 45 se observa el subsistema de singularización, el cual es accionado por un motorreductor que transmite la potencia en pares de ruedas dentadas con el fin de girar los rodillos. La velocidad debe ser suficiente para vencer la fricción de una palta y que esta puede saltar al siguiente rodillo. Además, los saltos facilitan el desplazamiento de paltas. Las guías se encargan de reducir el espacio hasta que solo sea posible el paso de una única palta.

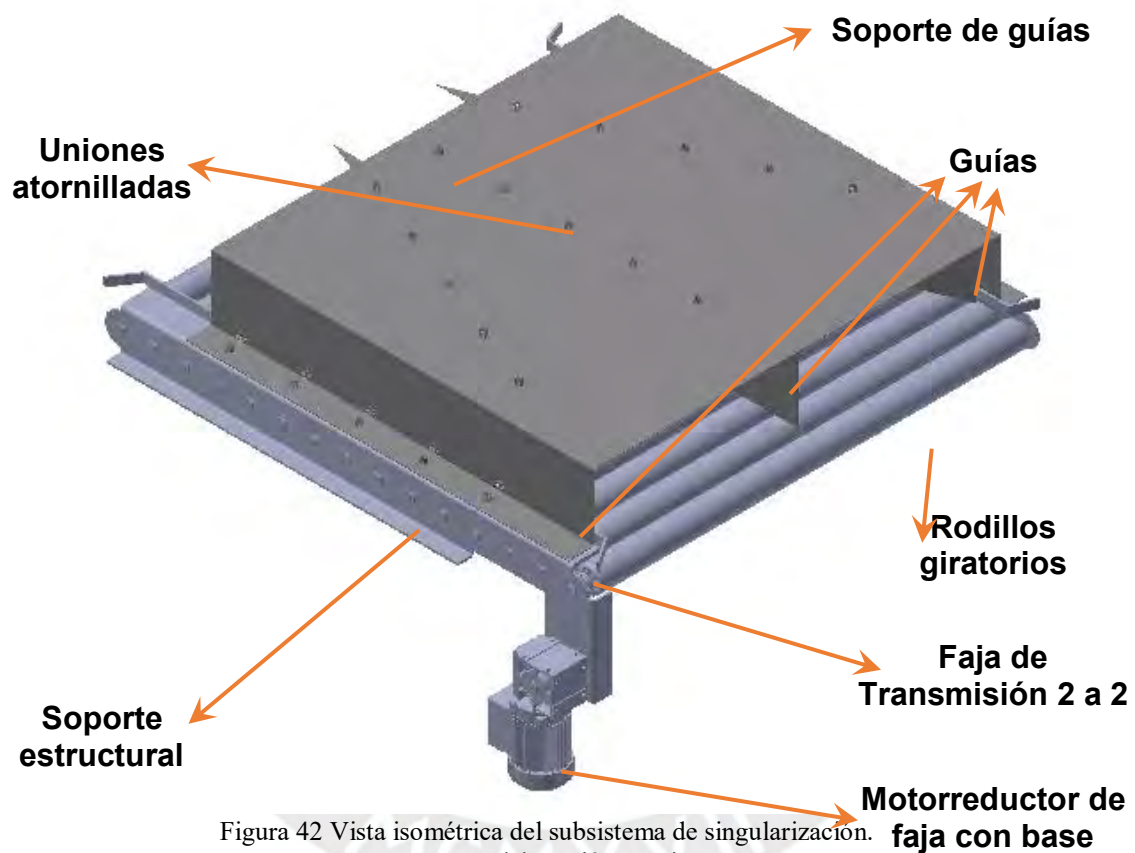


Figura 42 Vista isométrica del subsistema de singularización.
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 46 muestra la cara oculta por el soporte estructural. De esta forma se puede observar la sujeción del motor por medio de tornillos roscados ciegos y la transmisión de potencia desde el piñón al sistema dentado 2 a 2

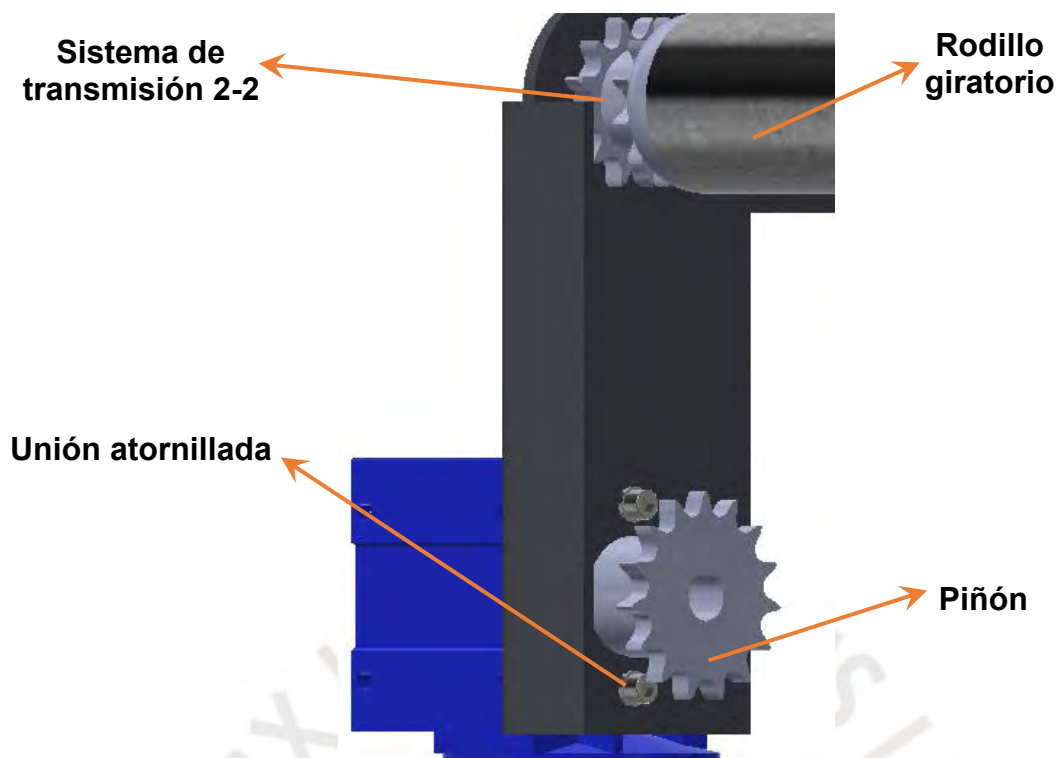


Figura 43 Detalle de transmisión 2 a 2.
Fuente: Elaboración propia

Análogamente, se adjunta una tabla que lista a los actuadores encargados de operar en este subsistema, además de las variables sobre las que actúan en la Tabla 26.

Tabla 24 Tabla resumen de actuadores – sensores para la singularización.
Fuente: Elaboración propia.

Sensores y actuadores	Variable manipulada
Motorreductor de faja	Velocidad angular de rodillos (rad/s)
Motorreductor de cadena	Velocidad de transporte de cazoletas (m/s)

2.6.3 Subsistema de clasificación

El subsistema de clasificación se compone de un motorreductor, el cual, junto a 2 árboles de transmisión ubicarán a las paltas sobre los pistones neumáticos, los cuales se encargarán de volcar las paltas recién clasificadas sobre los canales respectivos de la resbaladera como se observa en la Figura 47. Además, en las siguientes figuras se muestra con más detalle las uniones atornilladas y soldaduras existentes entre bases, componentes y estructura.

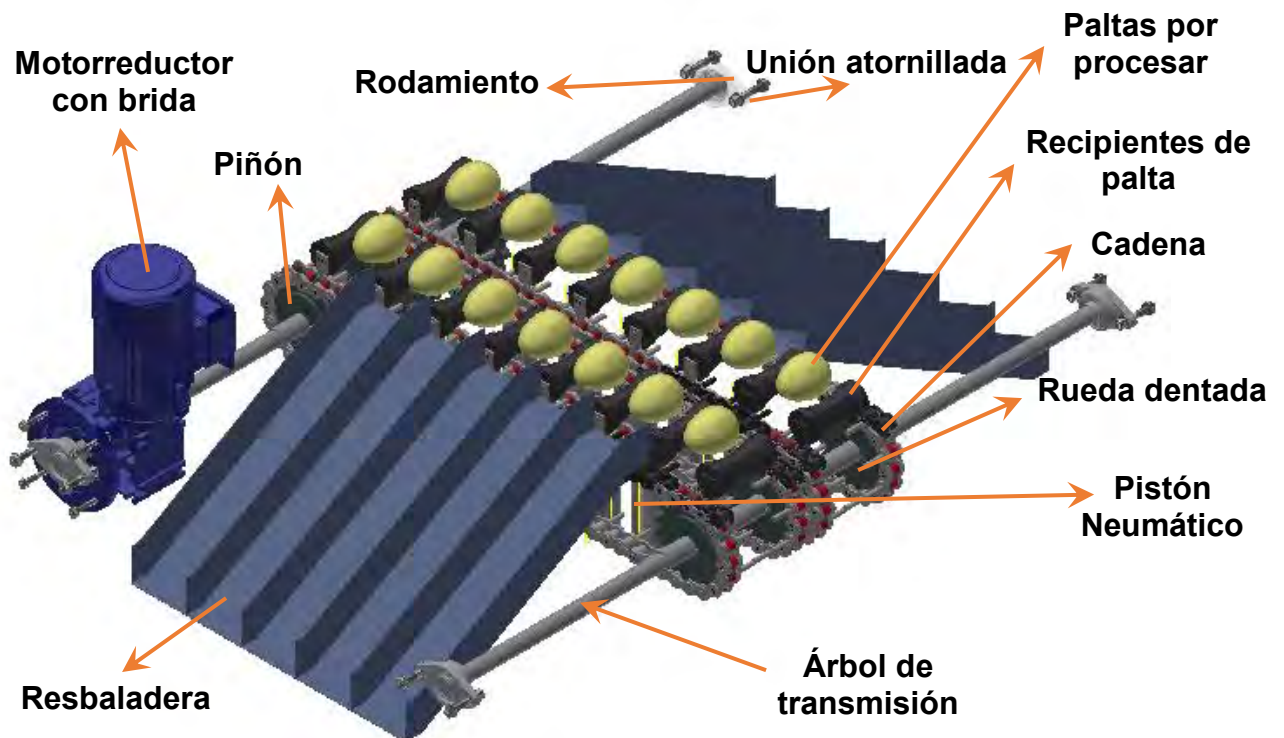


Figura 44 Vista isométrica del subsistema de clasificación.
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 48 se muestra la unión atornilla entre el motorreductor y la base del motorreductor. A su vez, la base se une a la estructura mediante soldadura.



Figura 45 Detalle de la base del motorreductor de clasificación.
Fuente: Elaboración propia

La Figura 49 muestra las uniones atornilladas roscada que existe entre el cilindro neumático y la unión atornillada entre la brida de sujeción y la base del cilindro

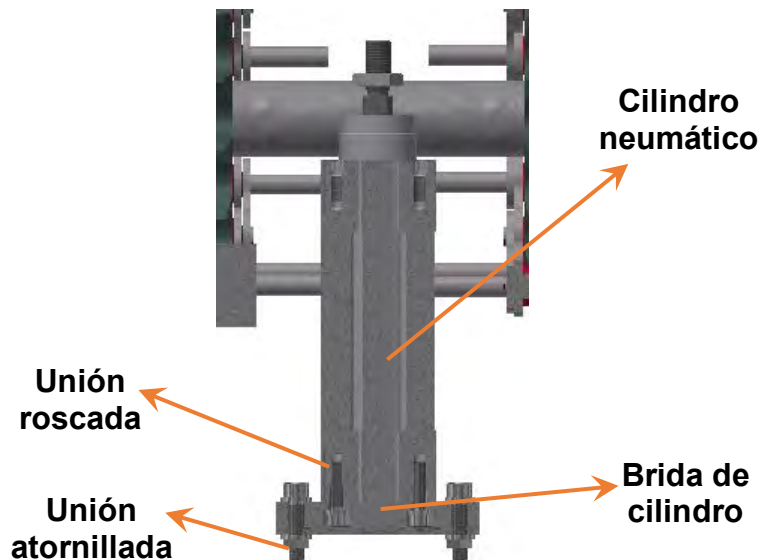


Figura 46 Detalle de la unión del cilindro de simple efecto con la brida de sujeción.
Fuente: Elaboración propia

Una vez el cilindro ha sido fijado a la base por medio de tornillo como se observa en la Figura 50, la base se suelda a la estructura.

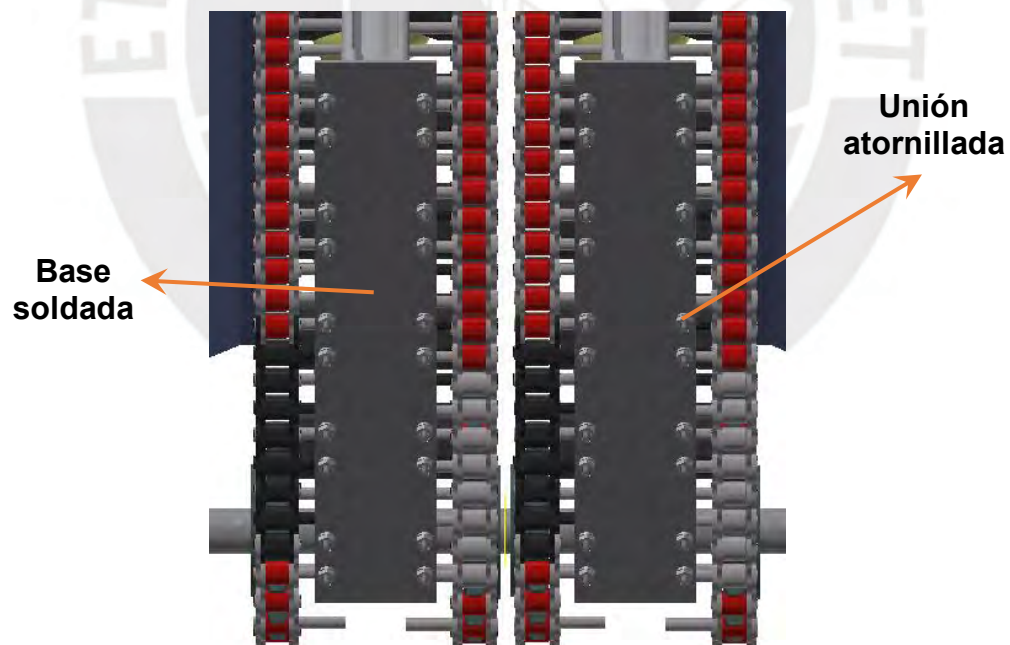


Figura 47 Detalle de la base del cilindro.
Fuente: Elaboración propia

De manera similar a los subsistemas anteriores, se adjunta una tabla que lista a los actuadores encargados de operar en este subsistema, además de las variables sobre las que actúan en la

Tabla 27

Tabla 25 Tabla resumen de actuadores - sensores presentes en la clasificación
Fuente: Elaboración propia.

Actuador	Variable manipulada
Pistón neumático	Fuerza aplicada al recipiente (N)
Sensor	Variable registrada
Cámara de visión	Imagen geométrica del producto

2.6.4 Subsistema de soporte

La Figura 51 muestra a la estructura y agregados mecánicos que soportarán a los demás subsistemas

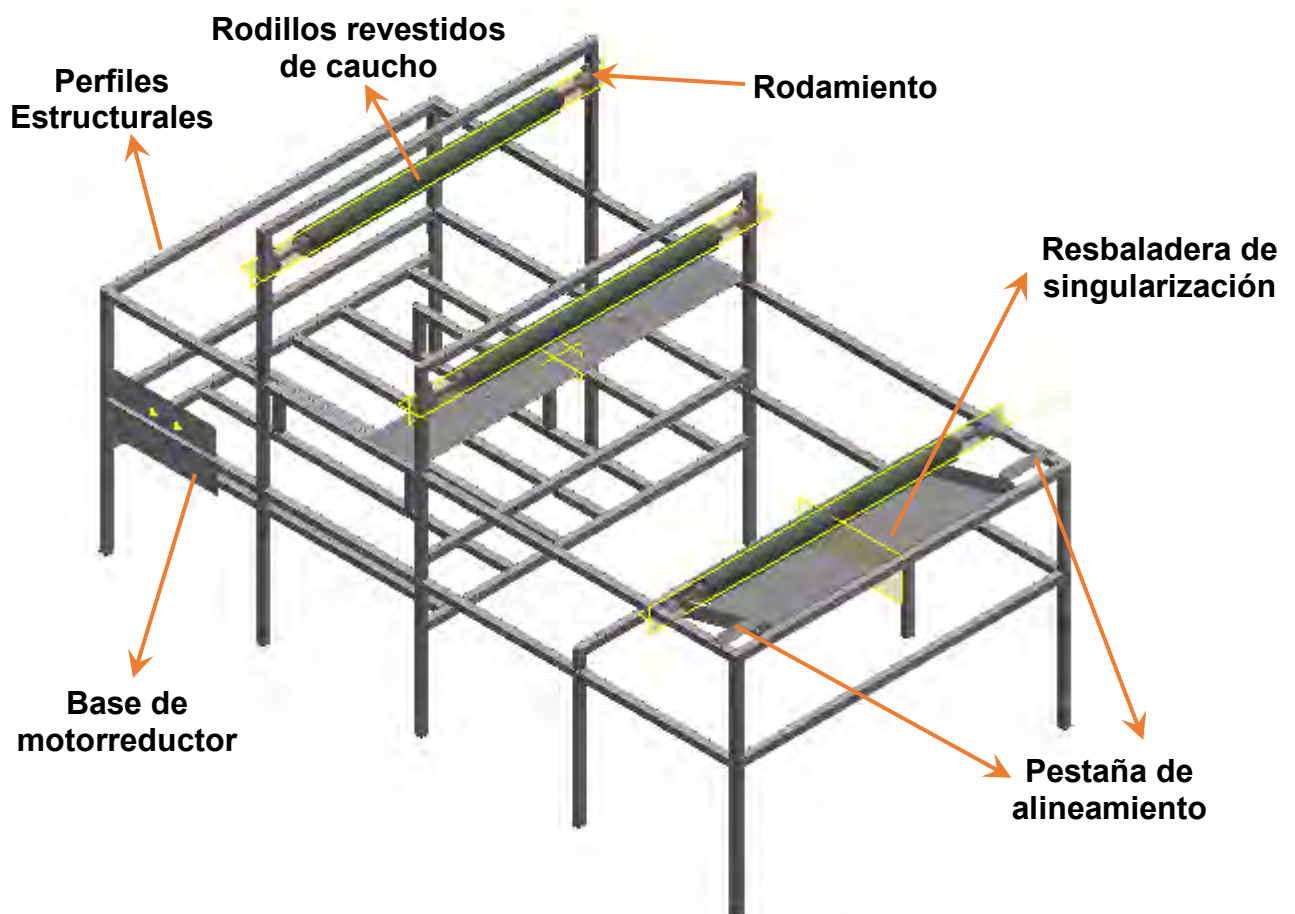
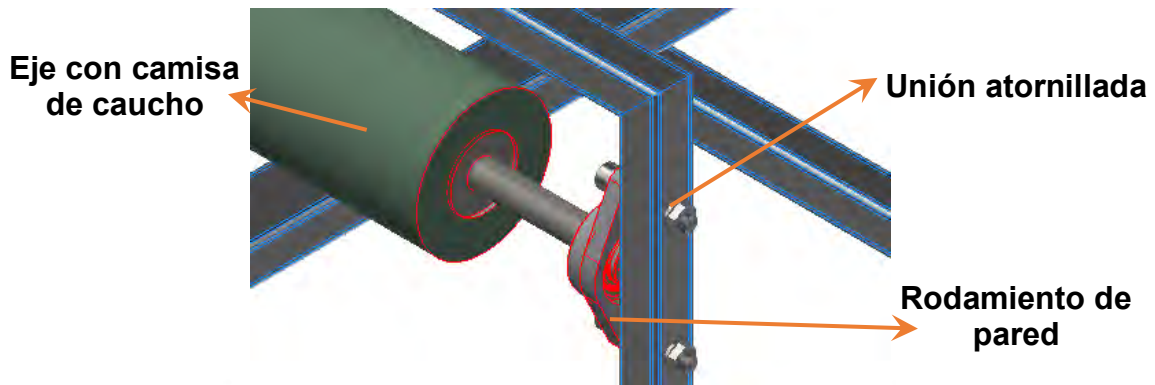
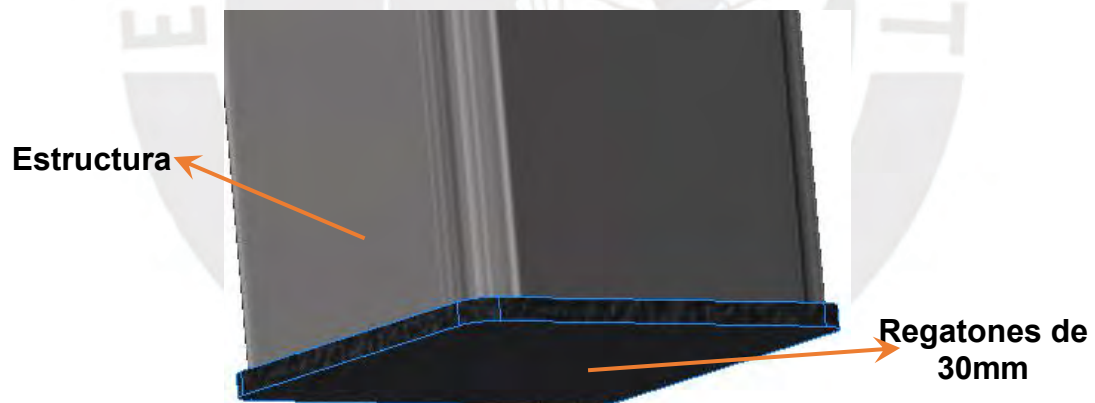


Figura 48 Vista isométrica del subsistema de soporte.
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 52 presenta la unión entre el eje con camisa de caucho, el cual es el encargado de evitar las acumulaciones de paltas en el eje z, y la estructura. Esta unión se realiza mediante uniones atornilladas.



La base de los perfiles cuadrados verticales se sujeta de regatones de 30mm para evitar el resbalamiento como se muestra en la Figura 53.

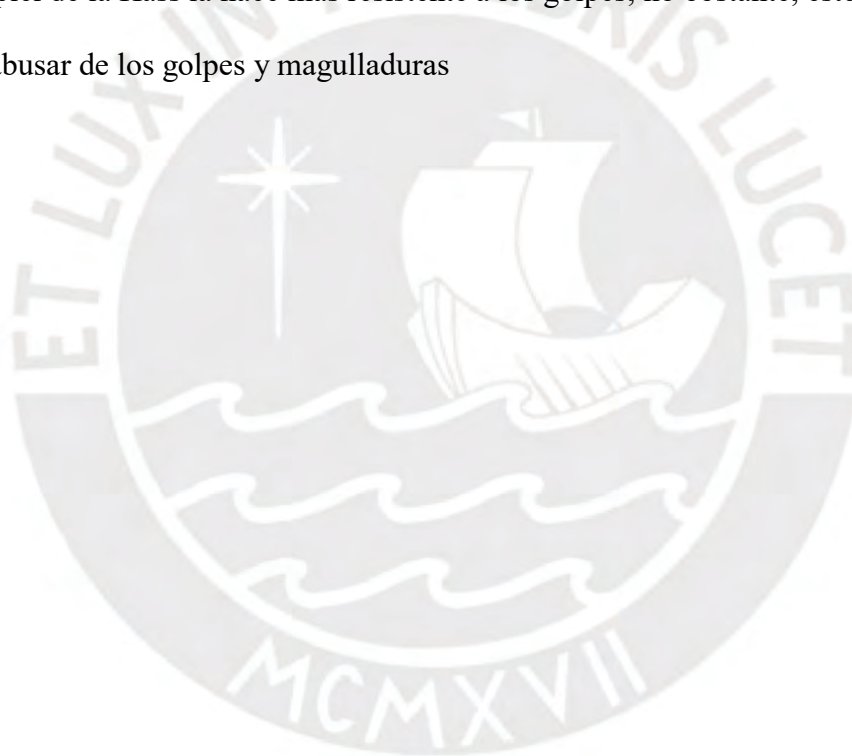


CONCLUSIONES

- Se logró diseñar un sistema automático de bajo costo acorde a las necesidades de las PyMe's que puede clasificar las paltas Hass en 5 calidades distintas según el calibre y la calidad de piel del producto.
- Se obtuvo una estructura mecánica capaz de recibir la cantidad mínima equivalente a 50 kg de paltas Hass por lote con el fin de satisfacer las expectativas mínimas del mercado.
- Se determinó un sistema de fajas guiadas por rodillos capaces de singularizar y movilizar el material a la velocidad necesaria para cumplir los requerimientos de producción, así como posicionar el producto para el subproceso de clasificación.
- Se definió un sistema de clasificación basado en visión por computadora y eyección de aire capaz de disgregar el producto final según las categorías preestablecidas cuyo funcionamiento disminuye las pérdidas del mismo modo que aumenta la productividad del proceso

COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES

- El sistema se puede aplicar a productos con características similares a las de la palta Hass, siempre y cuando se mantenga la delicadeza en el tratamiento de la piel
- Se debe evitar en lo posible tener contacto con la superficie del fruto, esta es la razón por la que se necesita precisión en las velocidades, fuerzas de impacto, pendientes, caídas, etc.
- Se escogió a la palta Hass sobre otras variedades populares de paltas, pues la rugosidad de la piel de la Hass la hace más resistente a los golpes; no obstante, este no es motivo para abusar de los golpes y magulladuras



BIBLIOGRAFÍA

- Acosta Reátegui, J. M., & Armando Romero, C. (2019). *La Situación del Mercado Internacional de la Palta*. Retrieved from <https://bibliotecavirtual.minagri.gob.pe/index.php/analisis-economicos/estudios/2019/28-la-situacion-del-mercado-internacional-de-la-palta/file>
- Agraria.pe. (2018). Industria de máquinas clasificadoras de frutas ve con expectativa el mercado peruano. Retrieved April 16, 2019, from <http://agraria.pe/noticias/industria-de-maquinas-clasificadoras-de-frutas-ve-con-expect-17870>
- AGRODATAPERU. (2019). Aguacate - Paltas Perú Exportación 2018 Diciembre - Agrodataperu. Retrieved April 16, 2019, from <https://www.agrodataperu.com/2019/01/aguacate-paltas-peru-exportacion-2018-diciembre.html>
- Alibaba Group Holding Limited. (n.d.). Industrial Weight Sorter Dragon Fruit Sorting Machine - Buy Dragon Fruit Sorting Machine,Industrial Sorting Machine,Dragon Fruit Grading Machine Product. Retrieved April 6, 2019, from https://www.alibaba.com/product-detail/Industrial-Weight-Sorter-Dragon-Fruit-Sorting_60822404636.html?spm=a2700.7724857.normalList.33.1fe558e092SLO4
- Amisy Food Machine. (n.d.). High Quality Automatic Fruit And Vegetable Sorting Machine, China Fruit And Vegetable Sorting Machine Supplier. Retrieved April 6, 2019, from <https://www.amisyfoodmachine.com/vegetable-fruit-equipment/fruit-vegetable-sorting-machine.html>
- Andina. (2018). Perú crecerá 4% en 2018 por pesca, construcción y manufactura primaria | Noticias | Agencia Peruana de Noticias Andina. Retrieved April 2, 2019, from <https://andina.pe/agencia/noticia-peru-crecera-4-2018-pesca-construccion-y->

manufactura-primaria-723076.aspx

Arazuri, S., Arana, I., & Jaren, C. (2010). Evaluation of mechanical tomato harvesting using wireless sensors. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 10(12), 11126–11143. <https://doi.org/10.3390/s101211126>

Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales No Arancelarias. (2014). *PROYECTO DE NORMA TÉCNICA PERUANA PNTN 011.018 2014*. Lima, Perú.

CONFIEP. (n.d.). PYMES: El motor del crecimiento en el Perú. Retrieved April 16, 2019, from <https://www.confiep.org.pe/confiep-tv/pymes-el-motor-del-crecimiento-en-el-peru/>

Garro Santillana, L. A. (2018). *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN PROTOTIPO ARRANCADORA DE PAPA CON TRACCIÓN MECÁNICA, LA MOLINA* - 2018. Retrieved from <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2914/E14-O7-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Gestion. (2018). Perú se consolida como segundo proveedor mundial de paltas. Retrieved April 2, 2019, from <https://gestion.pe/economia/peru-consolida-segundo-proveedor-mundial-paltas-228551>

Gimeno, S., Rodríguez Díaz, A. ;, De Asís, F., Salvador, A., Guzmán Sánchez, L. ;, Luis Y Muñoz Rodríguez, J., & Luis, J. (2010). *Patent No. 2 318 987*. Retrieved from <http://repositorio.ual.es:8080/bitstream/handle/10835/4380/P200602228.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Horii, T., & Kabushiki Kaisha Maki Seisakusho, J. (1986). *Patent No. 4,586,613*. Retrieved from <https://patentimages.storage.googleapis.com/8d/4f/e1/39818615b6fcb0/US4586613.pdf>

Longkou Fushi Packing Machinery CO., L. (n.d.). Fruit Grading Machine_Fruit Grading Machinemanufacturer_Fruit Grading MachineThe manufacturer_Fruit Grading Machine-

- LONGKOU FUSHI PACKING MACHINERY CO., LTD. Retrieved April 6, 2019, from <http://www.fushijixie.cn/en/product/229.html>
- MINAGRI. (2008). *Estudio de palta en el Perú y el Mundo*. Retrieved from http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/herramientas/boletines/estudio_palta.pdf
- Moggia, C., Graell, J., Lara, I., González, G., & Lobos, G. A. (2017). Firmness at Harvest Impacts Postharvest Fruit Softening and Internal Browning Development in Mechanically Damaged and Non-damaged Highbush Blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *Frontiers in Plant Science*, 8, 535. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00535>
- Rezaei, P., Hemmat, A., & Shahpari, N. (2018). Detecting Sunburn in Pomegranates Using Machine Vision. *Electrical Engineering (ICEE), Iranian Conference On*, 654–658. <https://doi.org/10.1109/ICEE.2018.8472430>
- TOMRA. (n.d.). Máquinas para clasificación de vegetales y frutas Blizzard. Retrieved April 6, 2019, from <https://www.tomra.com/es-es/sorting/alimentacion/equipamiento-de-clasificacion/blizzard>
- Xu, R., Takeda, F., Krewer, G., & Li, C. (2015). Measure of mechanical impacts in commercial blueberry packing lines and potential damage to blueberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 110, 103–113. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.07.013>